Polusi Cahaya:
Permasalahan dan Solusi

Oleh
Judhistira Aria Utama dan Lina Aviyanti
[1]Jurusan Pendidikan Fisika
Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Pendidikan Indonesia
Jl

Abstrak

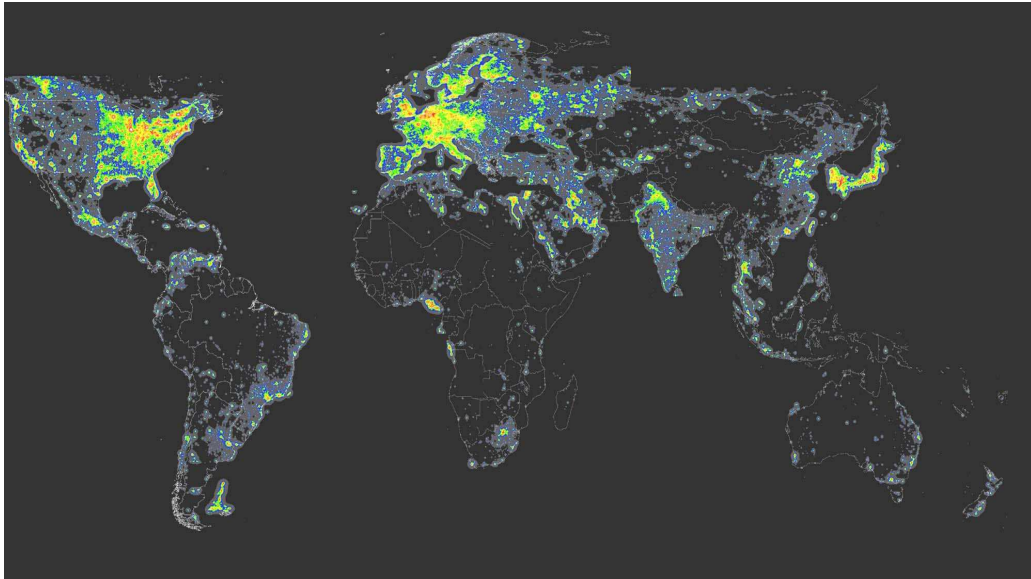
Dalam tulisan ini diulas tentang permasalahan polusi cahaya yang terutama melanda kota-kota besar. Apakah polusi cahaya, berbagai aspek yang terkait dengannya, efek yang ditimbulkan, dan solusi yang ditawarkan turut disajikan. Paparan yang disajikan dalam studi ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi para pemegang otoritas dalam menghasilkan regulasi yang lebih ramah lingkungan bagi kepentingan semua pihak.

I Pendahuluan

Istilah polusi cahaya digunakan berkenaan dengan kondisi cahaya berlebih, baik dari sumber alami maupun buatan, yang menimbulkan ketidaknyamanan terhadap lingkungan sekitar. Sedemikian mendesaknya permasalahan ini dengan melihat dampaknya terhadap keseimbangan lingkungan, termasuk di dalamnya lingkungan angkasa Bumi, Himpunan Astronomi Internasional (IAU – *International Astronomical Union*) merasa perlu membentuk kelompok kerja yang khusus menangani polusi cahaya dalam Komisi 50-nya. Demikian pula dengan organisasi lintas profesi yang menaruh perhatian besar terhadap problem ini, seperti Asosiasi Langit Gelap Internasional (IDA – *International Dark-Sky Association*, berdiri di Tuczon, Arizona, tahun 1989), yang memiliki anggota tersebar di seluruh dunia dan bergiat dalam melakukan kampanye tentang pelestarian langit gelap melalui beragam kegiatan pendidikan bagi publik di samping secara aktif melakukan berbagai studi tentang dampak ekspos cahaya berlebih ini bagi makhluk hidup. Tidak hanya IDA, organisasi keprofesian semacam IESNA *(Illuminating Engineering Society of North America)* dan ILE (*The Institution of Lighting Engineers*, di Inggris) aktif menghasilkan sejumlah rekomendasi seputar pencahayaan yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan sekaligus estetik.

Pendidikan tentang polusi cahaya bagi publik jelas memberikan tantangan tersendiri, tidak hanya di negara-negara maju yang tak dapat dipungkiri paling besar memberi sumbangan polusi cahaya, namun juga di negara-negara sedang berkembang seperti Indonesia. Pada kondisi saat ini, boleh jadi negara-negara berkembang tersebut

tidak menggunakan sejumlah besar energinya untuk keperluan pencahayaan. Namun, seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang dialaminya, sangat mungkin suatu saat di masa depan mereka pun menjadi kontributor utama dalam isu polusi cahaya. Dengan demikian, menggiatkan pendidikan publik di negara-negara berkembang mengenai –salah satunya– isu global polusi cahaya jelas memiliki nilai strategis di masa depan.

http://www.lightpollution.it/dmsp

Gambar 1
Atlas dunia pertama tentang kecerlangan langit malam buatan (Cinzano *et al.*) menurut data satelit yang telah dikalibrasi.

http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/

Gambar 2
Wilayah Asia Timur, Jepang, Indonesia, dan Australia dilihat dari angkasa pada malam hari.

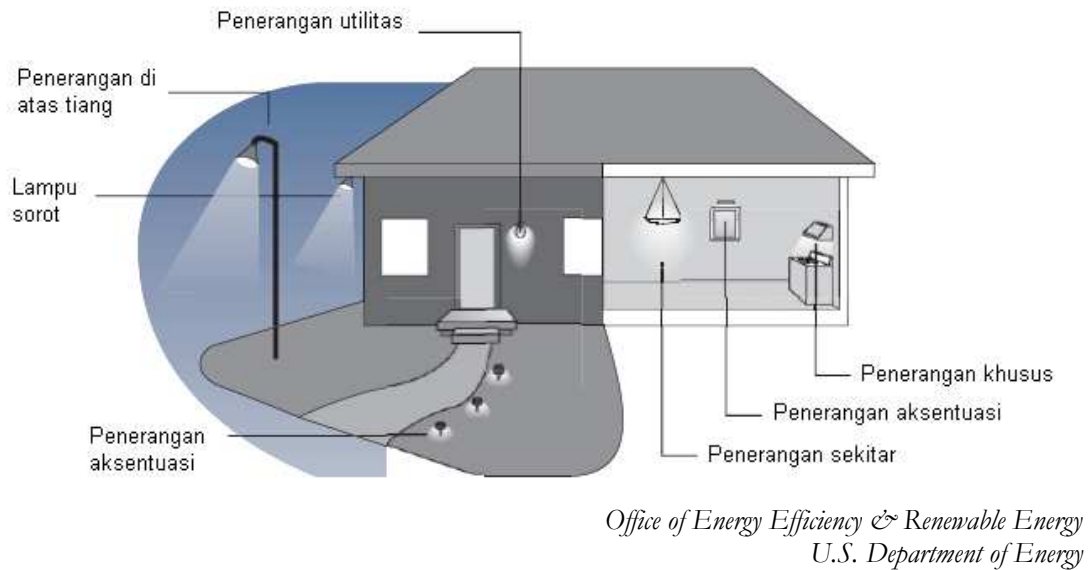
Ada banyak alasan yang mendorong manusia modern menggunakan cahaya buatan di malam hari, mulai dari memperoleh penglihatan yang lebih baik dengan pertimbangan keamanan dan keselamatan hingga untuk keperluan memperpanjang waktu bekerja, bermain, dan keperluan estetika di malam hari (semisal untuk menonjolkan keindahan gedung, lansekap, monumen, air mancur, jembatan, dan reklame). Tidak ada yang salah dengan semua hal yang disebutkan di atas. Hal-hal tersebut baru akan menjadi masalah manakala terdapat sejumlah cahaya dalam porsi tertentu di luar kebutuhan yang dapat menimbulkan ketidaknyamanan terhadap lingkungan sekitar, terutama lingkungan biotik, termasuk di dalamnya manusia. Dengan kata lain, tidak semua pencahayaan buatan *(artificial lighting)* itu baik.

Pencahayaan berlebih *(over-illumination)* yang memunculkan problem polusi cahaya dapat muncul dari sejumlah faktor, seperti:

- Tidak menggunakan *timer*, sensor otomatis atau kontrol lainnya untuk mematikan cahaya manakala tidak diperlukan.
- Desain yang tidak tepat, terutama di ruang kerja, dengan memberikan tingkat pencahayaan lebih dari tugas yang diemban sistem penerangannya.
- Pemilihan tudung atau cahaya lampu yang salah, yang tidak mengarahkan cahaya secara langsung ke tempat yang memerlukan penerangan.
- Pemilihan perangkat keras yang tidak tepat yang justru memperbesar konsumsi energi lebih dari yang diperlukan untuk tugas penerangan.
- Pelatihan yang tidak tuntas bagi para manajer bangunan dan pekerjanya tentang penggunaan cahaya secara efisien.
- Perawatan sistem lampu yang kurang, yang berakibat pada peningkatan *stray light* dan biaya.

Secara umum, pencahayaan buatan diperlukan manusia untuk menjalankan fungsi sebagai:

- **penerangan sekitar** *(ambient lighting)*: penyedia penerangan untuk aktivitas harian, baik di dalam maupun luar ruangan.
- **penerangan khusus** *(task lighting)*: memberikan penerangan untuk hal-hal khusus yang memerlukan jumlah cahaya lebih dari yang dapat diberikan oleh *ambient lighting*, seperti lampu baca, lampu cermin, lampu sorot, dan lain-lain.
- **penerangan aksentuasi** *(accent lighting)*: penerangan untuk menonjolkan fitur-fitur khusus atau untuk keperluan estetika.

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy
U.S. Department of Energy

Gambar 3
Jenis pencahayaan buatan dalam & luar ruangan.

II. Definisi Terminologi

Banyaknya cahaya buatan yang justru menyinari tempat yang tidak seharusnya, dapat diakibatkan oleh desain dan pemasangan yang tidak tepat untuk keperluan penerangan di malam hari. Ada banyak sumber cahaya buatan yang dapat menimbulkan hal di atas, seperti penerangan jalan umum, penerangan reklame, penerangan luar ruang, penerangan untuk keperluan dekoratif, penerangan untuk keamanan, dan penerangan stadion olah raga. Penerangan buruk tersebut dapat memperparah kondisi dari akibat alamiah berupa pantulan cahaya ke arah atas oleh permukaan yang disinari (yang memang tidak dapat dihindari), dengan menghadirkan gangguan-gangguan berupa *glare*, *light trespass*, dan *sky glow*. Terminologi yang dikenal dan sering digunakan dalam persoalan terkait penerangan yang buruk dijelaskan dalam tabel di bawah.

Glare	Cahaya menyilaukan. Cahaya dengan intensitas yang kuat dalam arah yang salah tidak akan membantu penerangan, justru mengurangi visibilitas dan dapat membahayakan.
Sky glow	Kecerlangan *(brightness)* langit latar belakang di atas permukaan Bumi, terutama di atas kota besar yang bermandikan cahaya. *Sky glow* terjadi karena cahaya yang mengarah ke atas dipantulkan kembali ke bawah oleh angkasa Bumi. *Sky glow* tidak seragam, sangat dipengaruhi oleh kondisi meteorologi mikro dan makro suatu tempat pada suatu waktu.
Light trespass (spill light/stray light)	Cahaya tak diinginkan yang berasal dari lingkungan sekitar, biasanya karena instalasi yang salah sehingga menyinari sampai di luar daerah sinaran yang menjadi tugasnya. Misalnya, cahaya lampu sorot taman tetangga yang masuk ke dalam kamar kita di lantai atas melalui jendela kamar.

Lanjutan

Obtrusive light	Spill light yang karena kuantitasnya atau karena berada dalam arah yang salah telah menimbulkan gangguan/ketidaknyamanan.

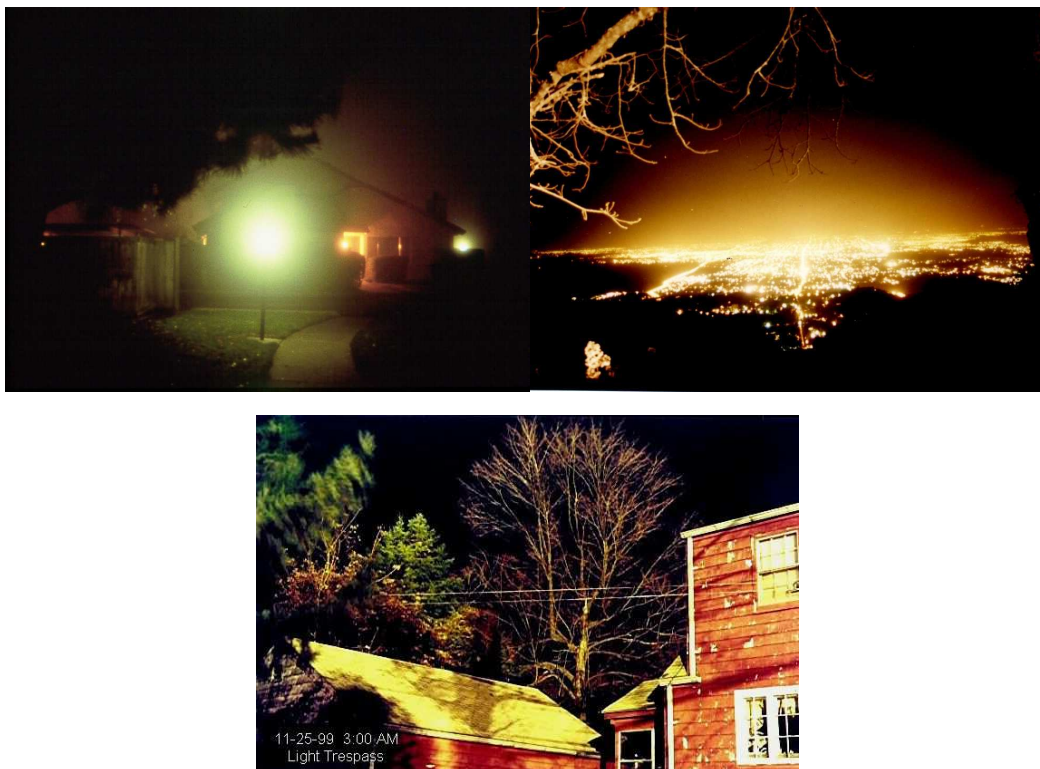
Tabel 1

Beberapa istilah lain yang berkenaan dengan kuat dan kualitas pencahayaan dijelaskan berikut ini.

Luminous intensity	Intensitas cahaya suatu sumber yang mengemisikan radiasi monokromatik ($5{,}40 \times 10^{14}$ Hz) dalam arah tertentu. Dinyatakan dalam satuan **candela** (cd). Satu candela memiliki intensitas pancaran dalam arah tersebut sebesar (1/683) Watt/steradian. Candela berhubungan langsung dengan lumen, yaitu 1 candela = 4π lumen = 12,57 lumen.
Radiant flux	Daya yang dipancarkan atau diterima untuk seluruh panjang gelombang dalam bentuk radiasi (dalam satuan Watt).
Luminous flux	Radiant flux pada panjang gelombang cahaya tampak. Dinyatakan dalam satuan **lumen**. Sumber cahaya titik isotropik dengan luminous intensity 1 candela menghasilkan 4π lumen pada permukaan sferis yang melingkupinya.
Illuminance	Luminous flux per satuan luas permukaan yang dituju. Satuan SI untuk iluminansi adalah **lux**, di mana 1 lux sama dengan 1 lumen/m^2. Iluminansi mengikuti hukum kuadrat terbalik, sehingga menggandakan jarak awal akan membuat jumlah cahaya yang ditansmisikan berkurang menjadi ¼ kali jumlah mula-mula.
Luminance	Kecerlangan suatu objek yang mengalami illuminance dari suatu sumber (cd/m^2). Bila luminance merupakan pengukuran fisis, brightness merupakan sensasi yang ditimbulkan pada mata kita. Brightness (kecerlangan) objek di antaranya bergantung pada karakteristik material.
Efficacy	Rasio antara cahaya yang dihasilkan dengan energi yang dibutuhkan (lumen/Watt). Salah satu cara mengurangi konsumsi energi adalah melalui penggunaan penerangan yang menghasilkan lebih banyak cahaya dari penggunaan listrik yang sedikit.

Lanjutan

Color temperature	Mengacu kepada warna sumber cahaya. Secara konvensi, warna kuning-merah dipandang sebagai warna panas *(warm color*, temperatur lebih rendah*)*, sedangkan biru-hijau warna dingin *(cool color*, temperatur lebih tinggi*)*. Penggunaan warna dingin lebih disukai untuk keperluan penerangan khusus karena menghasilkan kontras yang lebih baik dibandingkan warna panas. Sementara itu, ruang-ruang tinggal lebih memilih warna panas karena membuat lebih nyaman di tubuh.
Color rendition	Menyatakan warna objek yang terlihat ketika disinari oleh suatu sumber cahaya. Berkenaan dengan ini dikenal pula *Color Rendition Index* (CRI) yang menyatakan kemampuan suatu sumber cahaya dalam memunculkan warna benda yang disinarinya. CRI memiliki skala indeks 1 – 100. Nilai CRI 100 didefinisikan sebagai pencahayaan oleh bola lampu pijar 100 Watt. Sumber cahaya dengan nilai CRI ≥ 80 banyak digunakan untuk penerangan di dalam rumah.

Tabel 2

International Dark-Sky Association (IDA)

Gambar 4

Contoh bentuk *glare* (kiri atas), *sky glow* (kanan atas), dan *light trespass* (bawah).

III Berbagai Aspek Polusi Cahaya

III.1 Polusi cahaya dan astronomi

Astronom menjadikan alam semesta sebagai laboratoriumnya. Tidak seperti kebanyakan aktivitas di dalam laboratorium lainnya, astronom nyaris tidak dapat bereksperimen secara langsung dengan objek kajiannya. Alih-alih melakukan "eksperimen – teori", astronom justru menerapkan "observasi – simulasi – teori" untuk melengkapi metode ilmiah yang telah dikenal.

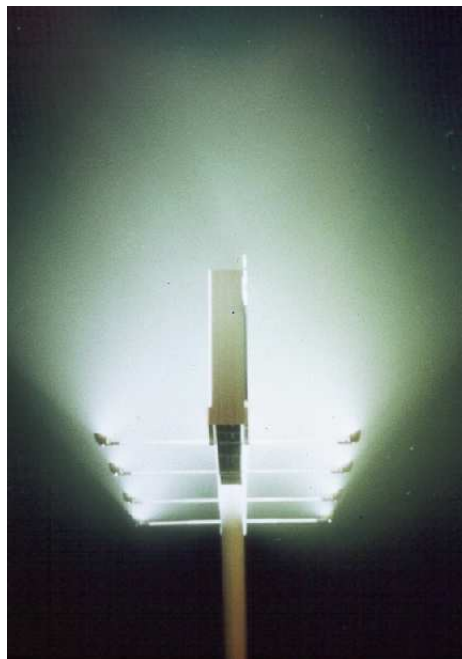
Salah satu pembawa informasi yang diperoleh astronom melalui kegiatan observasi benda-benda langit adalah cahaya tampak; gelombang elektromagnetik dengan rentang frekuensi $7{,}5 \times 10^{14}$ hertz hingga $4{,}3 \times 10^{14}$ hertz. Melalui teknik-teknik yang dikenal dalam ranah astronomi, astronom dapat menghasilkan informasi fisis tentang objek langit yang sedang ditelitinya tersebut, seperti kecerlangan, besar energi yang dipancarkannya, temperatur, kelimpahan komposisi kimiawi, kecepatan, bahkan dengan dukungan studi teoritik dapat diperoleh informasi massa sebagai besaran fundamental yang menentukan riwayat akhir suatu bintang.

Lazimnya, sebuah tempat peneropongan objek langit terletak menyepi. Pemilihan lokasi observatorium dilakukan sedemikian rupa sehingga memenuhi sejumlah kriteria, seperti wilayah dengan kepadatan penduduk yang rendah, tempat yang tinggi agar jumlah aerosol di atmosfer lapisan atas yang dapat menyebarkan balik cahaya buatan berada dalam jumlah minimum, banyaknya hari kering dalam satu tahun, rendahnya kelembaban udara, dan tentu saja kondisi langit malam yang gelap. Namun, perkembangan dewasa ini menunjukkan bahwa lokasi yang menyepi tersebut justru menarik minat sejumlah pihak untuk memanfaatkan dan mengembangkannya sebagai tempat permukiman dan pariwisata terkait dengan kenyamanan lingkungan serta pertumbuhan populasi manusia yang tidak dapat dihindari. Bila sudah demikian kondisinya, kualitas langit malam di kawasan sekitar observatorium dapat terancam.

Sumber-sumber cahaya alami (seperti cahaya Bulan, terlebih lagi pada saat fase purnama) maupun buatan (penerangan untuk berbagai keperluan manusia) dapat menghilangkan kontras langit malam sehingga akan "menenggelamkan" kecerlangan objek-objek astronomi, terutama yang berada dalam jangkauan pengamatan mata bugil manusia dari permukaan Bumi. Selain itu, berlimpahnya cahaya-cahaya yang tidak diharapkan tersebut juga dapat "mengotori" cahaya objek langit, seperti yang terlihat dalam studi spektroskopi melalui kehadiran garis-garis atom raksa (Hg; Hidrargirum) yang berasal dari sumber cahaya buatan pada distribusi energi objek langit yang diteliti.

Dua jenis lampu yang banyak digunakan untuk keperluan penerangan luar ruangan, yaitu *high pressure sodium* (HPS) dan *metal halide* (MH), menunjukkan spektrum kompleks dengan komponen garis emisi dan kontinumnya tersebar di seluruh spektrum cahaya tampak. Dalam pengamatan spektroskopi, pekerjaan pengkalibrasian fluks dengan akurat menjadi sulit dilakukan dan kesalahan yang timbul dapat menghadirkan fitur-fitur spektrum palsu dari objek langitnya.

Selain menyerap radiasi yang tiba padanya, permukaan benda-benda termasuk permukaan Bumi dapat memantulkan kembali sebagian radiasi tersebut ke angkasa sebagai pendaran cahaya yang kita sebut *sky glow*. Efek *sky glow* ini sangat terasa di angkasa sebuah kota besar. Berlimpahnya cahaya di angkasa kota membuat kita kehilangan kekontrasan langit, sehingga menimbulkan kesulitan untuk menemukan objek-objek langit yang relatif redup kecerlangannya. Efek ini jugalah yang membuat sebuah kota besar dapat diamati dari jarak yang sangat jauh melalui pendaran cahaya hasil pantulan dan hamburan di angkasanya.

Timbulnya *sky glow* yang menyumbang pada kecerlangan langit malam ini dapat timbul sebagai akibat dari desain tudung atau penutup lampu yang buruk, sumber-sumber penerangan tanpa tudung, proses instalasi yang buruk, penggunaan cahaya yang melebihi kebutuhan, dan motif ekonomi seperti yang ditunjukkan oleh penggunaan billboard-billboard dengan penerangan yang mengarah ke atas *(up-lighted)*.

International Dark-Sky Association (IDA)

Gambar 5

Billboard dengan instalasi penerangan yang berkontribusi pada *sky glow*.

Dalam upaya mereduksi pemborosan energi dari penggunaan cahaya berlebih, *International Commission on Illumination* (*Commission Internationale de l'Eclairage* – CIE) telah mempublikasikan sebuah manual *"Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installation"*. Dokumen ini merekomendasikan adanya pembagian wilayah menurut intensitas cahaya yang diizinkan untuk masing-masing lingkungan sebagaimana yang mula-mula diperkenalkan oleh *The Institution of Lighting Engineers* (ILE); dimulai dari lingkungan yang harus dipertahankan gelap (E1) hingga lingkungan pusat kota yang diizinkan untuk terang-benderang (E4). Aturan penggunaan intensitas cahaya yang diperkenankan semakin ketat untuk wilayah yang semakin mendekati kategori E1. Definisi untuk keempat wilayah tersebut dijelaskan berikut ini.

E1	Wilayah yang harus dipertahankan tetap gelap *Contoh*: Taman nasional, lokasi wisata alam, dll
E2	Wilayah dengan tingkat intensitas cahaya yang rendah *Contoh*: Wilayah pedesaan
E3	Wilayah dengan tingkat intensitas cahaya menengah *Contoh*: Pusat kota kecil
E4	Wilayah dengan tingkat intensitas cahaya yang tinggi *Contoh*: Pusat kota besar yang hiruk-pikuk dengan aktivitas malam hari

Tabel 3

Untuk daerah perbatasan, aturan yang berlaku adalah ketentuan di wilayah yang lebih "dalam". *Illuminating Engineering Society of North America* (IESNA, 1999) memberikan rekomendasi berupa pembatasan waktu guna membatasi *light trespass*, yang dikenal sebagai *pre-curfew* dan *post-curfew*. *Pre-curfew* dimulai sejak senja hingga pukul 23.00 waktu setempat, yakni selang waktu di mana wilayah yang memerlukan penyinaran sedang dalam penggunaan. Sementara *post-curfew* adalah sejak pukul 23.00 hingga 07.00 waktu setempat. Rekomendasi ini masih memberikan kelonggaran untuk menggunakan tingkat pencahayaan yang lebih tinggi selama periode *pre-curfew*. *The Institution of Lighting Engineers* (ILE, 2000) juga menyediakan panduan untuk membatasi *obtrusive light (*berupa *sky glow*, *light trespass*, dan *glare)* akibat pemasangan penerangan luar ruangan. Batasan *obtrusive light* untuk penerangan luar ruangan yang direkomendasikan ditabelkan di bawah ini.

Wilayah	*Sky Glow ULR* [% maks.]	*Light into Windows* [Lux] (1)		Intensitas Sumber [kcd] (2)		Terang Bangunan Sebelum Berlaku Pembatasan Waktu (3)	
		Pre-curfew	Post-curfew	Pre-curfew	Post-curfew	Rata-rata (cd/m^2)	Maksimum (cd/m^2)
E1 (4)	**0**	**2**	**1***	**0**	**0**	**0**	**0**
E2	**2,5**	**5**	**1**	**20**	**0,5**	**5**	**10**
E3	**5,0**	**10**	**2**	**30**	**1,0**	**10**	**60**
E4	**15,0**	**25**	**5**	**30**	**2,5**	**25**	**150**

Tabel 4

ULR: *Upward Light Ratio of the installation* menyatakan persentase maksimum fluks cahaya yang diizinkan mengarah langsung ke angkasa.

(1) **Light into windows** – Nilai maksimum yang disarankan untuk sebarang bukaan/jendela. Sebarang penerangan harus menghasilkan *illumunance* di bawah nilai ini bila terjadi kasus *light trespass*.
* Hanya yang diterima dari penerangan jalan umum.

(2) **Source intensity** – Intensitas cahaya (dalam kilo-candela) yang melampaui daerah tugasnya dari sebarang sumber cahaya tunggal dengan arah yang berpotensi menimbulkan gangguan. Angka yang tertera hanya berlaku sebagai panduan umum.

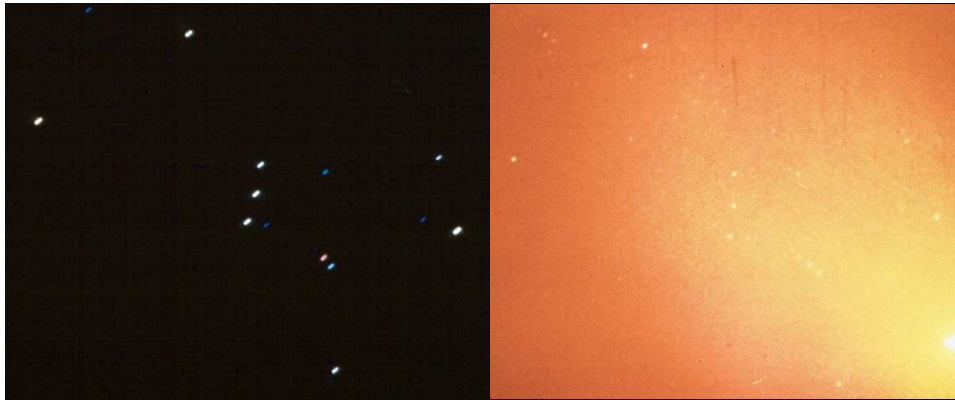
(3) **Building luminance** – Berlaku untuk bangunan yang mendapat penyinaran langsung guna menonjolkan fiturnya di malam hari sebagai tandingan terhadap "tumpahan" cahaya dari lampu sorot di dekatnya.

(4) **Zero illuminance** – Nilai "0" yang dicantumkan tidak menghalangi pemasangan penerangan untuk tujuan tertentu, seperti penerangan jalan. Meskipun demikian, pemasangannya harus sedemikian rupa sehingga cahaya yang dihasilkan tidak menimbulkan gangguan terhadap wilayah yang memang harus gelap.

Selain pengklasifikasian wilayah seperti di atas, pada pertemuan IAU-CIE bulan Agustus 1994 di Hague telah dimunculkan proposal pertama yang mengklasifikasikan jenis observasi dan pengukuran astronomi dalam upaya mengurangi gangguan dari *sky glow*. Murdin (1994) mengusulkan pembagian enam situs yang diharapkan dapat menjadi dasar kebijakan masa depan bagi Komisi 50 IAU. Dengan mempertimbangkan penggunaan lampu yang berbeda di tiap situs, proposal asli Murdin telah mengalami perubahan berupa pembagian situs dengan lebih detil.

Region 0		Pusat kota. Tidak ada aktivitas astronomi di dalamnya.
Region 1	1a	Daerah pinggir kota, wilayah permukiman, dan tempat rekreasi. Pandangan ke arah langit terbatas.
	1b	Daerah pinggir kota yang menjadi lokasi sarana pendidikan. Memungkinkan untuk observasi astronomi oleh amatir dengan teleskop kelas 30 cm.
Region 2	2a	Daerah pinggir kota yang menjadi lokasi museum atau kampus perguruan tinggi. Lokasi untuk mahasiswa (undergraduate) berlatih dan observasi astronomi oleh astronom amatir dengan teleskop kelas 50 cm.
	2b	Daerah pinggir kota yang baik sekali. Lokasi observasi bagi para mahasiswa pascasarjana dan astronom profesional dengan teleskop kelas 1 m. Program observasi dipilih yang memenuhi kondisi lokasi.
Region 3		Daerah pedalaman. Lokasi observasi bagi para mahasiswa pascasarjana dan astronom profesional dengan teleskop kelas 1 m. Program observasi terbatas, seperti *infrared spectroscopy*, *infrared imaging*, dan *high resolution optical spectroscopy of bright stars*.
Region 4		Daerah pedalaman tempat observatorium nasional atau internasional berdiri. Program observasi dan pengukuran dengan standar profesional yang tinggi dapat dilakukan dengan cakupan yang luas, seperti *intermediate resolution spectroscopy*, *photometry through single aperture*, dan *narrow band imaging*.
Region 5		Daerah observasi berkelas dunia yang mendukung dilakukannya program seperti *low resolution spectroscopy*, *continuum imaging*, dan *wide field imaging*.

Tabel 5

Menarik untuk membuka lembaran sejarah masa silam bagaimana manusia di Bumi memiliki keterikatan dengan langit. Contoh nyata dan terdekat adalah yang dipraktikkan oleh para petani di tanah Jawa hingga beberapa dekade yang lalu. Dulu, pada senja hari di bulan Februari, untuk menentukan waktu tabur benih seorang petani akan berdiri menghadap sawah ke arah timur dengan genggaman tangan yang penuh butiran gabah. Segera setelah langit mulai gelap untuk dapat mengesani bintang-bintang yang muncul di awal malam, ia akan mengarahkan lengannya ke arah tiga bintang terang di rasi Waluku (rasi Orion, Sang Pemburu). Kemudian ia akan membuka genggaman tangannya; bila saat itu butiran-butiran gabah jatuh ke Bumi, hal tersebut menjadi pertanda dimulainya waktu menebar benih. Contoh di atas menjadi bukti tentang eksistensi hubungan primordial antara manusia dengan kosmos yang terus diwariskan, sehingga manusia masa sekarang pun masih berkepentingan untuk tetap dapat menikmati indahnya langit malam.

International Dark-Sky Association (IDA)

Gambar 6

Penampakan rasi Orion (Indonesia: *Waluku*) dari tempat yang gelap memberi kita kesempatan untuk dapat mengesani warna bintang-bintang yang ada di dalamnya *(gambar kiri)*. Rasi Orion sebagaimana teramati dari lokasi yang mengalami polusi cahaya *(gambar kanan)*.

III.2 Polusi cahaya dan lingkungan serta kehidupan liar *(wildlife)*

Polusi cahaya tidak saja berkenaan dengan penurunan kualitas langit malam, yang membuat terhalangnya pandangan manusia Bumi ke arah langit. Persoalan polusi cahaya juga menyentuh bidang ekologi, yang diterjemahkan oleh sejumlah pakar sebagai cahaya buatan yang mengubah pola terang-gelap alami di suatu ekosistem. Karena polusi cahaya yang dikenal dalam astronomi dapat menjadi berbeda menurut tinjauan lingkungan (sebagai contoh, meski dalam pengertian astronomi lampu penerangan yang diarahkan ke bawah dapat mengurangi polusi cahaya, penerangan yang dihasilkan tersebut tetap dapat menjadi agen bagi polusi cahaya terhadap ekosistem sekitar), selanjutnya akan digunakan istilah polusi cahaya ekologis untuk menegaskan istilah yang digunakan.

Sumber polusi cahaya ekologis dapat berupa *sky glow*, bangunan dan menara yang dicahayai, penerangan jalanan, perahu nelayan, penerangan untuk keamanan, nyala api di lokasi pengeboran lepas pantai, cahaya yang bersumber dari tabung-tabung untuk keperluan riset bawah laut, dan semua cahaya yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem.

Penggunaan penerangan yang berlebihan di luar kebutuhan memberi dampak langsung pada peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Untuk setiap 1 kiloWatt jam (kWh – *kiloWatt hour*) listrik yang berhasil dibangkitkan, diperlukan sekitar 0,5 kilogram batu bara dan dihasilkan lebih-kurang 1 kilogram gas asam arang (CO_2) sebagai emisi buangan. Artinya, semakin konsumtif dalam penggunaan energi listrik yang pembangkitannya masih menggunakan bahan bakar fosil, semakin banyak pula timbunan CO_2 di atmosfer yang dihasilkan. Dengan kemampuan gas-gas rumah kaca dalam

memerangkap emisi inframerah yang dipantulkan permukaan Bumi, pada gilirannya hal ini akan berdampak pada peningkatan rata-rata suhu permukaan yang disebut sebagai efek rumah kaca *(greenhouse effect)*.

Longcore & Rich (2004)

Gambar 7

Dampak yang ditimbulkan polusi cahaya astronomis dan ekologis.

Dampak polusi cahaya bagi kehidupan liar pun tidak kalah dahsyatnya. Para pakar mendapati efek polusi cahaya ekologis terhadap tingkah laku dan populasi organisme di habitat alaminya, seperti pengaruhnya terhadap pola pencarian makan, reproduksi, migrasi, dan komunikasi. Bahkan produksi susu hewan-hewan ternak seperti sapi pun diketahui dipengaruhi pula oleh cahaya. Secara umum, efek tersebut berawal dari perubahan orientasi dan ketertarikan atau penolakan organisme terhadap pencahayaan lingkungan yang berubah. Sejumlah studi yang telah dilakukan mengenai pengaruh polusi cahaya ekologis terhadap lingkungan dan kehidupan liar disajikan berikut ini.

III.2.1 orientasi/disorientasi & ketertarikan/penolakan

Menurut *Health Council of the Netherlands* (2000), orientasi dan disorientasi merupakan respon terhadap jumlah cahaya yang datang yang menyinari suatu tempat *(illumination)*, sedangkan ketertarikan dan penolakan sebagai respon langsung organisme terhadap kecerlangan *(brightness)* sumber cahayanya.

Peningkatan iluminasi diketahui memperpanjang aktivitas binatang siang *(diurnal)* hingga waktu di mana mereka seharusnya sudah beristirahat kembali ke sarang. Sejumlah burung (Hill 1990) dan reptil (Schwartz dan Henderson 1991) didapati telah dapat mengorientasi ulang diri mereka sendiri dalam pencarian makan di bawah pencahayaan buatan.

Penggunaan cahaya buatan pada malam hari secara terus-menerus juga menimbulkan disorientasi pada organisme berkenaan dengan kemampuan navigasi mereka di lingkungan gelap. Contoh untuk hal ini adalah penyu yang keluar dari sarang pada malam hari. Dalam kondisi normal, penyu menuju laut dengan menggunakan siluet yang dihasilkan vegetasi pantai sebagai panduan. Namun, semakin terangnya lingkungan pantai oleh cahaya buatan telah membuat penyu-penyu tersebut menjadi sukar mengesani siluet yang menjadi panduan gerak mereka (Salmon *et al.* 1995). Lebih jauh, penelitian juga menunjukkan bahwa perubahan kadar cahaya dapat mengganggu orientasi binatang malam *(nocturnal)*. Meskipun adaptasi penglihatan dalam gelap memiliki rentang yang lebar (Park 1940), peningkatan kadar cahaya secara tiba-tiba dapat membutakan binatang-binatang tersebut. Pada katak, peningkatan iluminasi secara mendadak membuat kemampuan visual mereka berkurang dan memerlukan waktu mulai dari beberapa menit hingga beberapa jam untuk memulihkannya kembali (Buchanan 1993). Seperti yang didapati oleh Jaeger dan Hailman (1973), begitu indera penglihatan katak-katak tersebut dapat beradaptasi terhadap perubahan pencahayaan di lingkungan mereka, katak-katak pun tertarik untuk menuju sumber cahaya.

Contoh lain adalah yang terjadi di Washington DC, Amerika Serikat. Penataan cahaya di Lincoln Memorial, Washington DC, baru-baru ini diketahui telah menarik kehadiran dua spesies lalat (*Chironomus plumosus* dan *Chironomus attenuatus*) dalam jumlah yang besar. Betina yang hendak bertelur banyak ditemukan mati di dinding pualam monumen. Laba-laba kemudian memakan sisa-sisa lalat tersebut dan menghasilkan kotoran yang sangat mengotori dinding dan lantai pualam monumen. Dengan penataan ulang pencahayaan monumen, ternyata kehadiran lalat-lalat tersebut dapat dicegah.

Sementara itu, arthropoda (filum terbesar hewan tanpa tulang belakang; *invertebrata*) memberikan reaksi yang beragam terhadap cahaya. Sejumlah laba-laba malam berkelakuan menolak cahaya, sedangkan yang lain (seperti sebagian serangga) justru memanfaatkannya bila tersedia (Nakamura dan Yamashita 1997).

Charles Copeland

Gambar 8
Dalam eksperimen menurut deskripsi William J. Long (1901), sedikitnya 12 ekor katak yang terlibat dalam eksperimen tertarik menuju lilin yang diletakkan di atas rakit buatan sebelum akhirnya rakit tersebut terbalik karena kelebihan beban.

Burung-burung juga dapat mengalami disorientasi dan terjebak dalam kungkungan cahaya buatan yang marak di malam hari (Ogden 1996). Sekali burung-burung tersebut memasuki wilayah bercahaya buatan pada malam hari, bangsa unggas ini akan terjebak dan tidak akan meninggalkan wilayah tersebut. Padahal, ada banyak burung migran yang menggunakan cahaya Bulan purnama dan bintang-bintang sebagai pemandu perjalanan panjang mereka. Di Amerika Serikat dan Kanada telah muncul perhatian yang besar terhadap kasus banyaknya kematian burung-burung yang bermigrasi pada malam hari untuk menghindari para pemangsa akibat bertumbukan dengan gedung-gedung tinggi yang bermandikan cahaya. Terlebih lagi ketika kondisi cuaca yang buruk atau pada akhir malam yang membuat burung-burung tersebut terbang rendah. Hadirnya struktur-struktur menjulang tinggi yang berlimpah cahaya dalam rute yang mereka lalui dapat disalahkesani oleh burung-burung migran sebagai cahaya Bulan atau bintang-bintang.

III.2.1.1 reproduksi

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh cahaya buatan malam hari terhadap aktivitas reproduksi hewan-hewan. Katak-katak betina *Physalaemus pustulosus* diketahui menjadi kurang selektif dalam memilih pasangan kawin ketika kadar cahaya ditingkatkan. Diduga, selama peningkatan kadar cahaya timbul keinginan kawin dengan cepat sekaligus untuk menghindari bertambahnya risiko bahaya oleh predator selama berlangsungnya aktivitas kawin tersebut (Rand *et al.* 1997). Bryant Buchanan

melaporkan bahwa katak-katak percobaan menghentikan aktivitas kawinnya ketika berlangsung pertandingan sepak bola di malam hari, yaitu ketika penerangan dari stadion di sekitar habitat mereka meningkatkan *sky glow*. Pada burung-burung pun terdapat sejumlah bukti yang menunjukkan bahwa cahaya buatan malam hari mempengaruhi pemilihan lokasi sarang.

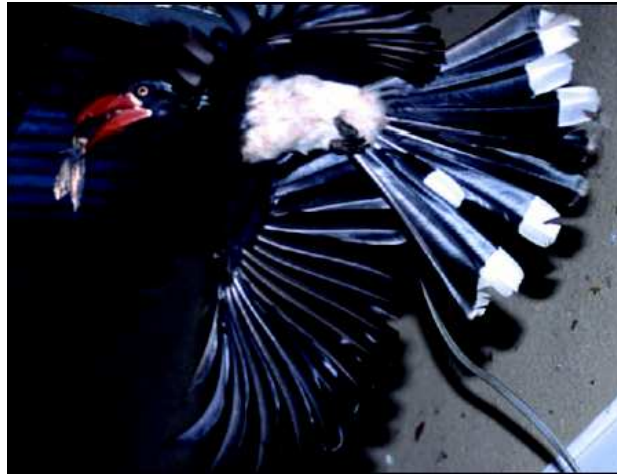
III.2.1.2 komunikasi

Komunikasi di dalam dan antarspesies dapat dipengaruhi oleh cahaya malam buatan, karena sejumlah spesies menggunakan cahaya alamiah yang mereka hasilkan sebagai sarana untuk berkomunikasi.

Cacing kelap-kelip *(glowworm)* betina memikat pejantan dengan *bioluminescent* hingga jarak 45 meter jauhnya. Kehadiran cahaya buatan akan mengurangi visibilitas terhadap komunikasi cahaya ini. Demikian pula yang terjadi pada kunang-kunang, yang semakin sulit mencari dan menemukan pasangan kawin dengan *bioluminescent* yang lebih redup dibandingkan cahaya malam buatan (Lloyd 1994).

III.2.1.3 kompetisi

Dalam komunitas alamiah, waktu untuk aktivitas pencarian makan antarspesies dapat berbeda-beda menurut kebutuhan kadar pencahayaan, yang lazim dinyatakan dalam lux. Lux merupakan satuan iluminasi dalam sistem baku yang menyatakan terang cahaya yang dikesani oleh mata manusia. Katak pohon *(Hyla squirrela)* dapat menjaga orientasinya dan mencari makan pada kadar cahaya hingga serendah 10^{-5} lux dan akan menghentikan aktivitasnya tersebut manakala kadar cahaya lingkungan mencapai 10^{-3} lux (Buchanan 1998). Katak western (western toad, *Bufo boreas*) mencari makan hanya pada iluminasi 10^{-1} – 10^{-5} lux, sementara katak berekor *(Aschapus truei)* hanya selama saat tergelap di malam hari dengan kadar cahaya kurang dari 10^{-5} lux (Hailman 1984).

Sejumlah spesies kelelawar diketahui tertarik pada serangga yang berkerumun di sekitar sumber cahaya (Frank 1988). Bagi spesies yang dapat memanfaatkan keberadaan sumber cahaya tentu diuntungkan dengan kondisi ini. Namun bila kondisi seperti ini berlangsung terus-menerus, pada saatnya nanti akan dapat mengubah struktur komunitas. Untungnya tidak semua spesies kelelawar tertarik pada sumber cahaya, seperti kelelawar dari jenis yang terbang lambat (Blake *et al.* 1994; Rydell dan Baagøe 1996). Kompetisi akan terjadi ketika binatang siang memperpanjang aktivitasnya hingga malam hari karena terbantu keberadaan cahaya malam buatan. Hal ini dijumpai pada reptil, laba-laba, dan burung (Hill 1990).

P.J. DeVries

Gambar 9
Burung Enggang *(Tockus alboterminatus)* berburu serangga di bawah cahaya buatan di Taman Nasional Hutan Kibale, Uganda.

III.2.1.4 rantai makanan

Sepintas lalu terlihat bahwa binatang siang lebih diuntungkan dengan hadirnya cahaya malam buatan. Faktanya tidaklah sesederhana itu. Di daerah yang mengalami polusi cahaya parah, burung-burung akan terus berkicau sepanjang malam mengantisipasi fajar yang justru belum akan tiba hingga beberapa jam ke depan. Hal ini tentunya berpengaruh pada pola istirahat mereka. Bila cahaya fajar terkalahkan oleh cahaya malam buatan, burung-burung itu belum akan sepenuhnya terjaga sampai sinar Matahari benar-benar mengalahkan cahaya polutif yang ada. Bila demikian halnya, burung-burung tersebut akan "gagal" menjadi burung awal yang keluar sarang dalam perburuan mencari makan.

Selain itu, bertambahnya waktu untuk melakukan aktivitas hingga malam hari juga diimbangi dengan bertambahnya risiko dimangsa oleh hewan-hewan predator. Keseimbangan antara bertambahnya waktu mencari makan dan risiko dari para pemangsa telah menjadi topik utama riset atas hewan-hewan mamalia kecil, reptil, dan burung (Kotler 1984; Lima 1998).

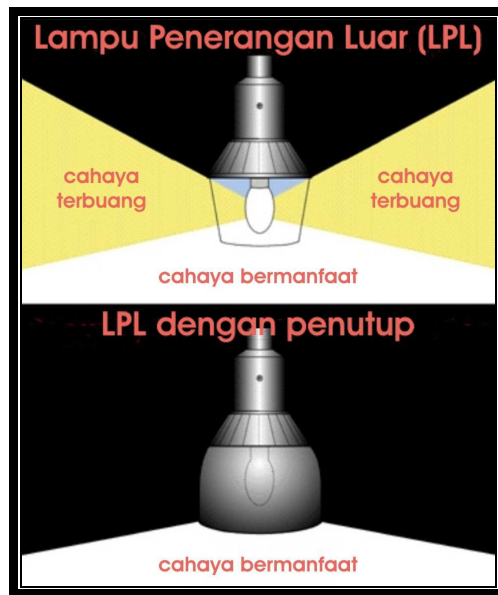
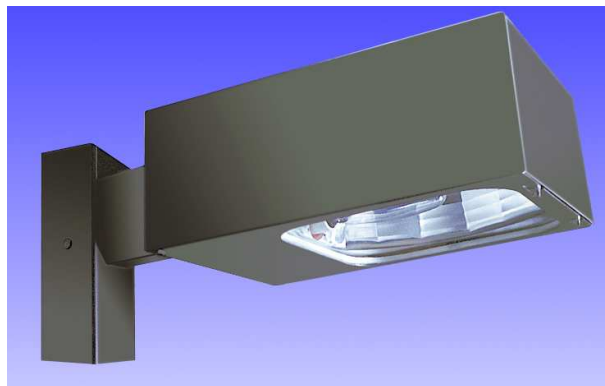
Gliwicz (1986, 1999) mendapati tingginya tingkat pemangsaan zooplankton oleh ikan-ikan selama awal malam ketika Bulan mencapai fase purnama. Zooplankton mencari makan dengan bermigrasi ke permukaan perairan dalam lindungan kegelapan dan hanya berbantuan cahaya Bulan. Secara alamiah, "jebakan cahaya Bulan" ini menguntungkan bagi ikan-ikan pemangsa. Sisi buruknya timbul manakala iluminasi yang tak diharapkan justru muncul yang berasal dari pencahayaan buatan manusia. Cahaya polutif yang bekerja

dengan mekanisme yang persis sama namun menipu ini dapat mengganggu interaksi antara pemangsa–buruan sebab seringkali hanya menguntungkan para predator.

Cahaya yang berasal dari uap raksa telah mempengaruhi interaksi antara kelelawar sebagai pemangsa dan ngengat sebagai buruan, sebab terbukti mengganggu gelombang ultrasonik yang digunakan kelelawar dalam penentuan posisi mangsanya *(echolocation)*. Demikian pula yang terjadi pada burung hantu. Di Inggris, populasi burung hantu menurun tajam. Polusi cahaya ekologis telah membuat berkurangnya wilayah buruan burung hantu dan burung-burung pemburu malam lainnya. Dalam kondisi yang terang-benderang, tikus-tikus yang menjadi sasaran buruan akan lebih senang bersembunyi di dalam sarang. Bila hal ini berlangsung secara berkepanjangan, keseimbangan ekosistem akan terganggu karena ketimpangan yang terjadi dalam rantai makanan.

III.3 Polusi cahaya dan aspek ekonomi

Lampu-lampu penerangan luar seharusnya diarahkan tegak lurus (membentuk sudut 0°) ke tanah, dan dapat dibantu dengan memberikan tudung yang memadai. Lampu yang diarahkan dengan sudut lebih besar daripada 90° hanya akan menerangi langit, dan menimbulkan cahaya yang menyilaukan mata. Lampu yang diarahkan dengan sudut antara 70° dan 90° hanya sedikit menerangi tanah, malahan juga menjadi sumber cahaya yang menyilaukan. Paling tidak sekitar 30% cahaya tidak jatuh pada tempat yang semestinya memperoleh penerangan.

Bila dibuat hitungan kecil potensi pemborosan dari sisi biaya akibat pencahayaan yang kurang baik, hasilnya mungkin akan membuat kita terkejut. Tinjau sebuah lampu yang menggunakan uap raksa dengan daya efektif sebesar 200 Watt dan dinyalakan rata-rata 11 jam per hari. Dalam setahun energi yang dihabiskan lampu adalah 803 kWh. Seandainya biaya per kWh sebesar Rp 580,00 maka dalam setahun lampu tersebut memakan biaya Rp 465.740,00. Ada berapa banyak lampu demikian di suatu kota? Andaikan ada 1000 buah saja lampu serupa itu dengan efisiensi 70%, maka sekitar Rp 140 juta terbuang sia-sia setiap tahunnya. Semakin diperluas cakupan wilayahnya, semakin besar pula potensi pemborosan yang terjadi.

International Dark-Sky Association (IDA)
Gambar 10
Lampu dengan tudung atau penutup memberikan penerangan yang lebih baik dan sesuai tujuan yang dikehendaki.

International Dark-Sky Association (IDA)
Gambar 11
Lampu *full cut-off* dengan desain kotak sepatu yang tidak menimbulkan *glare*.

Polusi cahaya relatif lebih mudah diatasi dengan segera dan dengan biaya yang relatif murah. Polusi cahaya hendaknya tidak dipandang sebagai akibat yang tak terhindarkan dari pertumbuhan penduduk dan pembangunan. Polusi cahaya dapat diatasi bersama-sama. Kunci penanggulangan polusi cahaya adalah penataan lampu-lampu luar ruangan, disertai dengan penggunaan tudung yang memadai. Bila untuk kebocoran saluran air saja kita dengan serta merta memperbaikinya demi menghindari pemborosan, tindakan yang sama pun semestinya kita lakukan untuk mengatasi kelebihan cahaya yang tidak perlu akibat penataan yang salah dan kebijakan yang tidak tepat.

III.4 Polusi cahaya dan persoalan hukum & kebijakan

Persoalan hukum dan kebijakan menyangkut polusi cahaya merupakan hal baru di Indonesia. Berbeda dengan gangguan kebisingan dan udara kotor yang dapat dijadikan delik aduan, laporan atas gangguan cahaya sepertinya belum pernah terdengar dan belum dapat dijadikan sebagai suatu tindak pidana. Padahal boleh jadi kita pernah mengalami gangguan cahaya tersebut dari tetangga sebelah rumah, yang karena pertimbangan keamanan menggunakan penerangan yang kuat sehingga turut menerangi rumah kita tidak seperti yang diinginkan.

Sebenarnya menjadikan persoalan polusi cahaya sebagai materi hukum bukanlah perkara yang mengada-ada. Lebih dari sekadar persoalan yang dihadapi oleh para astronom di seluruh dunia, telah banyak penelitian yang menemukan keterkaitan kehadiran cahaya buatan berlebih terhadap kesehatan manusia, lingkungan dan kehidupan liar, keamanan dan keselamatan, serta pengaruhnya terhadap ekonomi biaya tinggi. Untuk menghindari hal-hal yang dapat membawa pengaruh buruk itulah, perlu dibuat suatu aturan yang melindungi sekaligus mendidik masyarakat tentang hak dan kewajibannya. Teori motivasi mengatakan bahwa seseorang akan berbuat sesuatu bila merasa ada manfaat yang diperolehnya. Untuk itu, sosialisasi tentang dampak buruk dan keuntungan apa yang akan diperoleh masyarakat bila menerapkan kebijakan yang dihasilkan harus terus dilakukan.

Tentunya harus bijaksana dalam menerapkan suatu hukum dan kebijakan baru di tengah-tengah masyarakat. *Independence Institute*, lembaga riset kebijakan publik nirlaba yang berkedudukan di Colorado, Amerika Serikat, memberikan panduan untuk menerapkan kebijakan serupa itu. Beberapa hal pokok yang harus diperhatikan meliputi:

1) **Tidak perlu memaksakan suatu produk hukum yang berlaku surut**.

   Permintaan atas penggunaan jenis pencahayaan tertentu hendaknya dibebankan pada konstruksi baru atau konstruksi lama yang memang sudah saatnya direnovasi untuk menghindari beban ekonomi di masyarakat. Bila memang memungkinkan, otoritas yang berwenang dapat memberikan kompensasi atas pengubahan/penggantian yang dilakukan oleh masyarakat, baik sebagai individu maupun lembaga.

2) **Hukum harus menjamin kesetaraan hak & kewajiban**.

   Bila suatu gedung pemerintahan memerlukan penanganan keamanan khusus yang membutuhkan pencahayaan ekstra, hukum yang berlaku harus mengizinkan hal yang sama bagi properti milik pribadi yang juga memerlukan keamanan khusus.

3) **Lampu penerangan umum harus diarahkan tegak lurus ke bawah**.

Desain dari *International Dark-Sky Association* (IDA) menggunakan lampu bertudung yang disebut desain kotak sepatu yang membuat cahaya hanya mengarah ke bawah. Pemerintah kota harus menggunakan desain yang hemat energi dan ramah lingkungan, di samping juga hemat dalam pengoperasiannya.

4) **Pembatasan ketinggian lampu penerangan luar**.

Lampu penerangan luar dibatasi ketinggiannya hingga ketinggian gedung yang menjadi "tanggung jawab" tugasnya.

5) **Papan reklame harus mengarahkan lampunya dari atas ke bawah**.

Bila papan reklame tersebut tidak mengiklankan bisnis yang justru menjalankan usahanya setelah lewat tengah malam, pemilik dapat diminta kesediaannya untuk mematikan cahaya papan reklamenya.

6) ***Display lighting* harus dimatikan setelah toko tutup pada malam hari**.

7) **Peraturan mengenai tata cara, tempat, dan waktu beriklan**.

Hukum dan kebijakan yang dihasilkan harus dapat menjamin publik terlindung dari gangguan.

8) **Penggunaan lampu LPS *(Low-Pressure Sodium)*.**

Pemilik properti di dekat situs astronomi harus menggunakan lampu LPS untuk mengurangi pengotoran langit oleh cahaya buatan. Bagaimanapun lampu LPS tidak dianjurkan untuk digunakan secara luas, mengingat sifat monokromatiknya (hanya menghasilkan warna kuning) dapat menimbulkan kesulitan dalam mengesani warna objek yang tersinari. Selain itu, cahaya LPS juga memerlukan lampu yang besar yang membawa konsekuensi sulitnya mengontrol distribusi cahaya.

Beberapa hal di atas dapat menjadi langkah awal yang bagus untuk menunjukkan bahwa ada banyak cara guna melindungi minat orang-orang yang gemar menatap keindahan langit dan pada saat yang sama juga melindungi hak-hak orang lain.

III.5 Polusi cahaya dan teknis pencahayaan: jenis, model, pemasangan, estetika, & waktu

Dapat dikatakan bahwa kunci penanggulangan polusi cahaya adalah penataan lampu-lampu penerangan luar, disertai penggunaan tudung dengan desain yang memadai. Seperti halnya arsitektur, rekayasa, dan profesi dalam bidang desain lainnya, desain penerangan *(lighting design)* pun berdiri di atas kombinasi prinsip-prinsip saintifik, konvensi

dan standar yang diakui, estetika, budaya, serta faktor manusia yang dirangkum dan diterjemahkan dalam bahasa seni.

Kenneth Cooke

Gambar 12
Lampu penerangan luar yang mengarah ke atas tanpa tudung menimbulkan *glare* dan berkontribusi pada *sky glow*.

Masalah penting yang dihadapi bidang *lighting* sejak 25 tahun terakhir adalah persoalan **efisiensi energi** dan **kualitas pencahayaan**. Makin terang bukan berarti makin baik. Hal ini memang bertentangan dengan yang biasa kita dengar dari reklame produsen lampu. Cahaya lampu yang menyilaukan tidak pernah membantu penglihatan, tetapi justru mengganggu dan dapat membahayakan. Organisasi internasional yang bergerak di bidang konservasi langit malam, IDA *(International Dark-Sky Association)*, dalam situsnya (http://www.darksky.org) menyediakan beragam desain tudung lampu untuk menghasilkan kualitas pencahayaan yang optimum di samping hemat pula secara ekonomis (baca: hemat energi).

Meskipun tergolong boros energi (*efficacy* hanya 10 – 17 lumen/Watt dengan kala hidup 750 – 2500 jam), lampu pijar *(incandescent)* adalah jenis penerangan yang paling banyak digunakan untuk penerangan luar ruangan. Beruntung, saat ini sudah banyak tersedia lampu dari jenis yang lebih efisien. Lampu dari jenis ini yang mencukupi untuk keperluan penerangan luar ruangan adalah lampu lucutan gas berintensitas tinggi *(high-intensity discharge lamp* – HID*)* dan lampu natrium bertekanan rendah (*low pressure sodium* – LPS). Lampu HID yang paling umum adalah yang menggunakan uap raksa *(mercury vapor* – MV*)*, metal halida *(metal halide* – MH*)*, dan gas natrium bertekanan tinggi *(high-pressure sodium* – HPS*)*.

Lampu MH menghasilkan cahaya putih terang dengan *color rendition* yang cukup, kala hidup mencapai 6000 jam, dan lebih efisien dibandingkan lampu MV. Meskipun

dengan *color rendition* yang lebih rendah, lampu MV dan HPS memiliki kala hidup yang lebih lama; mencapai 16.000 bahkan hingga 24.000 jam. Dalam hal *efficacy*, lampu MV adalah yang paling rendah, yaitu hanya 25 – 60 lumen/Watt, sedangkan HPS mencapai 50 – 140 lumen/Watt. Sementara itu, LPS adalah yang paling efisien dengan kala hidup yang relatif lama (12.000 – 18.000 jam). Kelebihan yang dimiliki LPS ini dikompensasi dengan *color rendition*-nya yang paling rendah di antara ketiganya. Lampu HID dan LPS perlu waktu sampai dengan sepuluh menit untuk mulai menyala dan perlu waktu beberapa saat untuk pendinginan sebelum kembali beroperasi. Oleh sebab itu, kedua jenis lampu ini paling tepat untuk aplikasi yang memerlukan waktu operasi berjam-jam secara terus-menerus namun tidak cocok digunakan bersama-sama pemindai gerakan untuk penerangan keamanan.

BULB COMPARISON CHART	Efficacy (lumens/watt)	Lifetime (hours)	Color rendition index (CRI)	Color temperature (K)
Incandescent				
Standard 'A' bulb	10-17	750-2500	98-100 (Excellent)	2700-2800 (Warm)
Tungsten halogen	12-22	2000-4000	98-100 (Excellent)	2900-3200 (Warm to neutral)
Reflector (R)	12-19	2000-3000	98-100 (Excellent)	2800 (Warm)
Parabolic aluminized reflector (PAR)	12-19	2000-3000	98-100 (Excellent)	2800 (Warm)
Fluorescent				
Straight tube	30-110	7000-24,000	50-90 (Fair to good)	2700-6500 (Warm to cold)
Compact fluorescent lamp (CFL)	50-70	10,000	65-88 (Good)	2700-6500 (Warm to cold)
Circuline	40-50	12,000		
Outdoor Lighting				
Mercury vapor	25-60	16,000-24,000	50 (Poor to fair)	3200-7000 (Warm to cold)
Metal halide	70-115	5000-20,000	70 (Fair)	3700 (Cold)
High-pressure sodium	50-140	16,000-24,000	25 (Poor)	2100 (Warm)
Low-pressure sodium	60-150	12,000-18,000	-44 (Very poor)	

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy
U.S. Department of Energy

Tabel 6
Perbandingan karakteristik berbagai jenis lampu.

Dengan pertimbangan harga, kemudahan instalasi, dan *color rendition* yang sangat baik, banyak orang memilih menggunakan lampu halogen tungsten sebagai lampu sorot. Sebenarnya dengan instalasi dan arah yang tepat, lampu ini dapat berperan sebagai komponen penerangan keamanan yang memuaskan. Hanya saja, hendaknya menghindari penggunaan dengan daya yang besar –lebih besar daripada 2000 lumen (150 Watt)– karena hanya akan menimbulkan *glare* dan bayang-bayang yang lebih gelap. *Glare* akan mengurangi kemampuan lihat kita, sementara bayang-bayang gelap yang dihasilkannya dikhawatirkan justru menyediakan tempat bersembunyi bagi para pelaku tindak kriminal.

Seharusnya, lampu penerangan domestik menghasilkan tingkat pencahayaan minimum yang diperlukan untuk menyinari bangunan.

Advanced Lighting Guidelines 2003 (OSRAM SYLVANIA)

Gambar 15
Beragam jenis lampu yang sering digunakan untuk penerangan secara umum. Karena tidak ada jenis lampu yang optimum untuk segala situasi, pemilihan harus dilakukan sesuai keperluan. Dalam gambar ditunjukkan beberapa lampu dari jenis lampu pijar halogen *(halogen incandescent)*, fluoresensi *(fluorescent)*, dan lampu lucutan gas berintensitas tinggi *(high-intensity discharge lamp)*.

Berikut ini dijelaskan dengan lebih detil jenis-jenis sumber cahaya yang tersedia di pasaran.

III.5.1 low pressure sodium

http://www.nectec.or.th/courseware/electrical/light/lps/lps.html

http://www.daviddarling.info/encyclopedia/L/AE_lowpressure_sodium_lamp.html

International Dark-Sky Association (IDA)

Gambar 16
Lampu LPS dengan cahaya warna kuningnya banyak digunakan sebagai penerangan jalan umum.

Lampu LPS *(Low Pressure Sodium)*, yang dikenal pula sebagai lampu SOX *(Sodium OXide)*, terdiri atas tabung gelas vakum dengan lapisan pemantul inframerah dari indium timah oksida (campuran dari indium(III) oksida [In_2O_3] dan timah(IV) oksida [SnO_2]), sebuah bahan semikonduktor yang akan meneruskan keluar panjang gelombang cahaya tampak dan menahan panas inframerah. Lampu ini memiliki 2 lapis gelas borosilikat (salah satu jenis gelas yang lebih dikenal dengan merk *Pyrex*) berbentuk U dengan kandungan logam natrium dan sedikit gas neon dan argon di bagian dalamnya. Campuran antara suatu gas mulia dengan sedikit gas lainnya yang memiliki tegangan ionisasi lebih rendah daripada kandungan gas utama, dapat memicu terjadinya lucutan gas. Akibatnya, ketika lampu dinyalakan akan diemisikan cahaya merah/merah muda redup yang akan memanasi logam natrium dan dalam beberapa menit kemudian berubah menjadi warna kuning/jingga terang ketika logam natrium mulai menguap. Lampu ini menghasilkan cahaya monokromatik pada panjang gelombang 589,3 nanometer (nm), sehingga benda-benda tidak akan memiliki *color rendering* di bawah cahaya lampu LPS. Objek-objek tersebut hanya akan terlihat melalui pantulan cahaya 589,3 nm tersebut.

Sebagai sumber cahaya, lampu LPS adalah yang paling efisien penggunaan energi listriknya (mencapai 150 lm/W) di bawah kondisi pencahayaan fotopik *(photopic lighting condition)*. Oleh sebab itu, lampu jenis ini digunakan secara luas untuk keperluan penerangan luar ruangan sebagai lampu penerangan jalan umum dan keamanan yang memang tidak mengutamakan *color rendition*. Lampu LPS tersedia dengan kisaran daya mulai dari 10 W hingga 180 W. Sayangnya, dengan bertambah besarnya daya bertambah panjang pula ukuran lampu ini yang akan menghadirkan masalah tersendiri bagi para *lighting designer*.

III.5.2 high pressure sodium

http://www.allproducts.com/search/products/pE060199.shtml

Gambar 17
Lampu HPS termasuk anggota lampu lucutan gas berintensitas tinggi (HID).

International Dark-Sky Association (IDA)

Lampu HPS *(High Pressure Sodium)* berukuran lebih kecil dibandingkan LPS dan mengandung unsur lain (misalnya, raksa) yang akan menghasilkan pendaran cahaya merah muda gelap pada kali pertama dinyalakan dan setelah itu menjadi cahaya jingga kemerah-merahan. Natrium garis-D adalah sumber utama cahaya dari lampu HPS yang mengalami tekanan tinggi di dalam lampu, yang membuat warna benda di bawah sinaran lampu HPS dapat dibedakan. Karena hal inilah, lampu HPS banyak digunakan untuk keperluan yang membutuhkan *color rendition* yang baik.

Lampu HPS tergolong cukup efisien (mencapai 150 lm/W) di bawah kondisi pencahayaan fotopik. Lampu ini juga digunakan secara luas sebagai lampu penerangan jalan dan keamanan. Pemahaman mengenai perubahan sensitivitas mata manusia dalam mengesani warna dari kondisi fotopik *(photopic)* ke mesopik *(mesopic)* dan skotopik *(scotopic)* menjadi penting dalam desain perencanaan penerangan jalan.

III.5.3 metal halide

http://www.allproducts.com/search/products/pE060199.shtml

Metal Halide Lamp Spectrum 700 -- 350 nm

International Dark-Sky Association (IDA)

Gambar 18
Lampu MH dapat menghasilkan cahaya putih sehingga memberikan *color rendition* terbaik di antara semua jenis lampu kelompok HID.

Lampu metal halida *(Metal Halide* [MH]*)*, salah satu anggota kelompok lampu lucutan gas berintensitas tinggi *(high-intensity discharge* [HID]*)*, tergolong sumber cahaya yang cukup kompak, tahan lama, sekaligus efisien. Seperti kebanyakan lampu HID lainnya, lampu MH beroperasi di bawah temperatur dan tekanan tinggi, sehingga memerlukan "rumah" khusus untuk beroperasi dengan aman. Lampu jenis ini dikenal juga sebagai *"sumber cahaya titik"*, yang membuat diperlukannya sistem lampu reflektif guna mngkonsentrasikan cahaya untuk keperluan aplikasi tertentu.

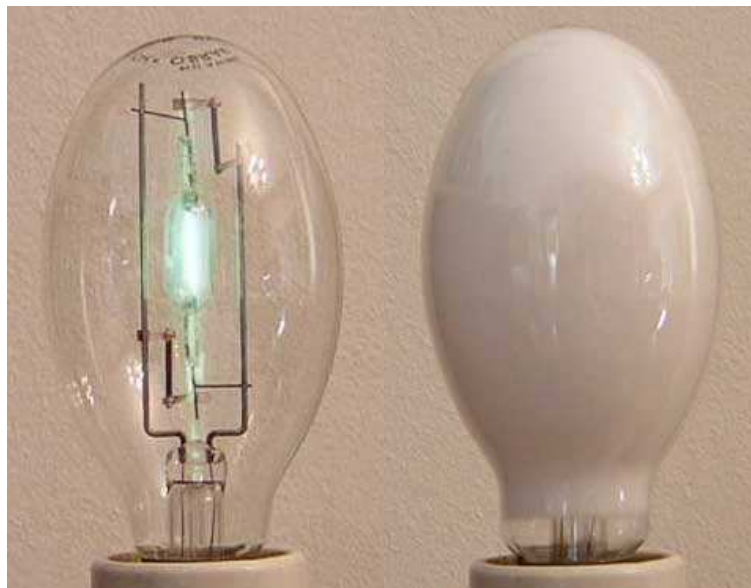
Lampu MH memiliki basis logam, yang memungkinkan terjadinya hubungan kelistrikan. Lampu ini ditutup dengan selubung gelas untuk melindungi komponen di dalamnya, sekaligus menyediakan tameng terhadap cahaya ultraviolet yang dihasilkan uap raksa.

Lampu MH menghasilkan cahaya dengan melalukan lucutan bunga api listrik di dalam campuran gas. Di dalam tabung terkandung campuran argon, raksa, dan berbagai loham halida bertekanan tinggi. Campuran dari berbagai halida akan mempengaruhi bagaimana cahaya dihasilkan, *color temperature*, dan intensitas. Gas argon di dalam lampu mudah mengalami ionisasi dan membantu terjadinya lucutan bunga api di antara kedua elektroda ketika diberi beda potensial. Panas yang dihasilkan oleh peristiwa lucutan bunga api tersebut akan menguapkan raksa dan logam halida, yang pada gilirannya akan menghasilkan cahaya ketika temperatur dan tekanan meningkat. Untuk dapat menjaga kestabilan aliran arus di dalam lampu, lampu MH memerlukan peralatan tambahan. Sekitar 24% energi yang digunakan lampu MH diubah menjadi cahaya (70 – 115 lm/W), sehingga lampu ini lebih efisien dibandingkan lampu fluoresens maupun lampu pijar.

Beberapa lampu MH dapat menghasilkan cahaya putih. Menurut campuran logam halidanya, lampu MH memiliki *color temperature* mulai dari 3000 Kelvin (sangat kuning) hingga 20.000 Kelvin (sangat biru). Lampu MH juga dibuat berkenaan dengan keperluan yang spesifik untuk absorpsi spektral yang diperlukan tumbuhan (hidroponik atau kebun di dalam ruangan) ataupun hewan (akuarium dalam ruangan). Karena toleransi dalam proses pabrikasi, akan terdapat perbedaan *color temperature* dari satu lampu ke lampu lainnya sehingga karakteristik warna yang dihasilkan lampu MH tidak dapat diprediksi dengan akurasi 100%. Lebih jauh, karakteristik warna lampu ini juga dapat berubah bersesuaian dengan sisa kala hidupnya.

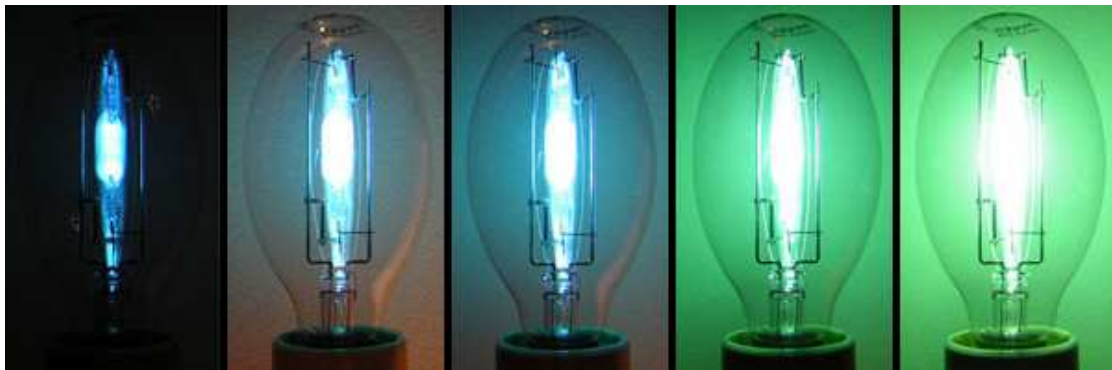
III.5.4 mercury vapor

Lampu MV *(Mercury Vapor)* adalah lampu lucutan gas yang memanfaatkan raksa dalam keadaan tereksitasi untuk menghasilkan cahaya. Lucutan bunga api listrik terjadi di dalam tabung quartz kecil yang disatukan dan berada di dalam gelas borosilikat yang lebih besar. Lapisan luar dari bahan gelas ini bisa bening atau dilapisi fosfor. Karena relatif efisien, lampu MV sering digunakan. Pelindung gelas berlapis fosfor memberikan *color rendition* yang lebih baik daripada HPS maupun LPS. Selain itu lampu MV juga memiliki kala hidup yang lebih lama dan cahaya yang kuat untuk sejumlah aplikasi.

http://ioannis.virtualcomposer2000.com/spectroscope/mercurylamp.html

International Dark-Sky Association (IDA)

Gambar 19

Lampu MV 80 Watt dari OSRAM dengan penutup gelas bening (kiri) dan berlapis fluoresens (kanan) serta pola spektrumnya.

http://ioannis.virtualcomposer2000.com/spectroscope/mercurylamp.html

Gambar 20

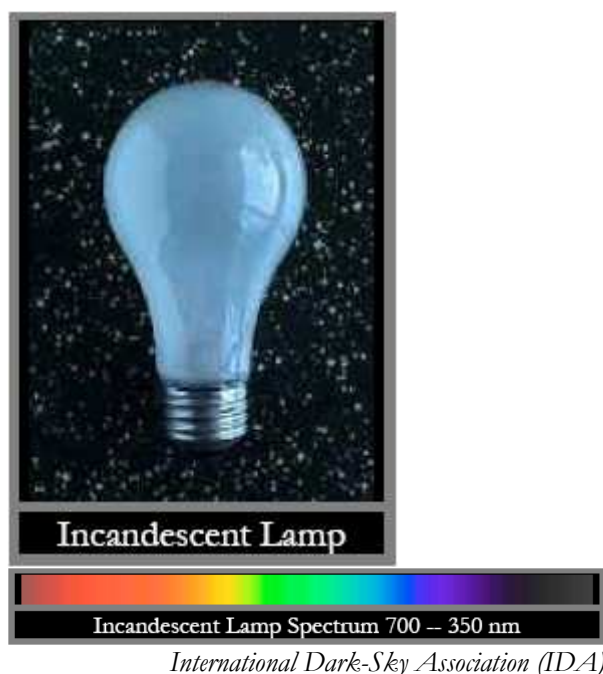
Perubahan warna nyala lampu MV 80 Watt, dari mula-mula berwarna biru (paling kiri, 3 detik setelah dinyalakan) hingga akhirnya menjadi hijau (paling kanan) setelah 1 menit sejak pertama kali dinyalakan.

Saat pertama kali dinyalakan, lampu MV akan menghasilkan pendaran berwarna biru gelap karena masih sedikitnya jumlah raksa yang diionisasi dan tekanan gas di dalam tabung pun masih sangat rendah. Ketika bunga api terlontar dan gas mulai terpanaskan serta terjadi peningkatan tekanan, panjang gelombang pun beralih ke daerah cahaya tampak dan gas bertekanan tinggi akan membuat pita emisi raksa mengalami sedikit

pelebaran. Dari proses ini dihasilkan cahaya yang berwarna lebih "putih" bagi mata manusia.

Dari lampu MV dengan tabung yang bening, dalam intensitas tinggi sekalipun hanya dihasilkan cahaya berwarna kebiruan. Untuk memperoleh cahaya lampu yang lebih putih, ditambahkan lapisan fosfor di bagian dalam tabung yang akan mengubah sejumlah emisi cahaya ultraviolet menjadi cahaya merah. Sebagian besar lampu MV modern sudah menggunakan lapisan tambahan ini. Dalam lampu MV dengan tekanan yang lebih tinggi (lebih besar dari 200 atmosfer), dapat diupayakan peningkatan warna merah yang salah satu aplikasinya pada proyektor-proyektor modern.

III.5.5 incandescent

International Dark-Sky Association (IDA)

Gambar 21

Lampu *incandescent* yang lebih dikenal sebagai lampu pijar adalah jenis lampu yang paling banyak digunakan meski tergolong boros energi.

Dalam lampu pijar, arus listrik mengalir melalui filamen tipis (dari kawat tungsten), memanaskan filamen hingga membuatnya mengemisikan cahaya. Proses ini terjadi di dalam ruangan yang kedap udara untuk mencegah terjadinya oksidasi pada filamen oleh oksigen.

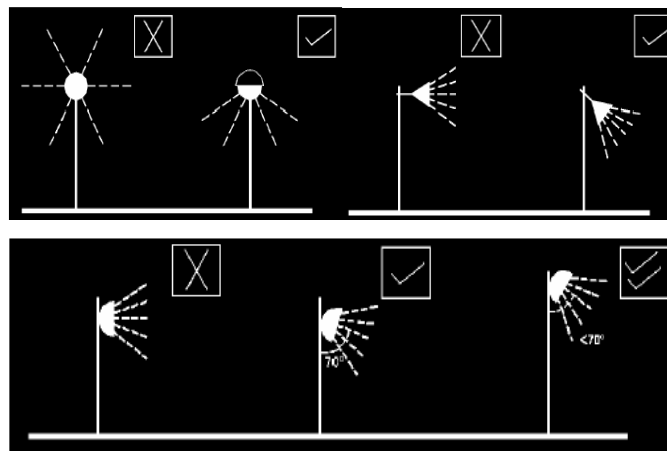
Lampu pijar terdiri atas bagian selubung gelas berbentuk seperti buah pear yang sengaja divakumkan atau diisi dengan gas-gas mulia bertekanan rendah. Irving Langmuir (1881 – 1957), nobelis bidang kimia berkebangsaan Amerika, menemukan bahwa mengisi bola lampu dengan gas-gas mulia dapat mengurangi penguapan filamen sekaligus mengurangi kebutuhan atas kekuatan berlebih dari bahan gelas yang digunakan. Arus listrik yang mengalir akan memanaskan filamen pada temperatur yang sangat tinggi (2000 – 6000 Kelvin, bergantung pada jenis filamen, bentuk, dan jumlah arus yang melaluinya). Elektron-elektron tungsten yang terpanaskan akan mengalami eksitasi sebelum akhirnya bertransisi ke tingkat energi yang lebih rendah. Pada saat menuju tingkat energi yang lebih rendah inilah dipancarkan energi dengan puncak intensitasnya berada di daerah cahaya tampak. Berbeda dengan cahaya

lampu MV, pada lampu pijar dihasilkan cahaya dengan spektrum benda hitam (radiasi termal).

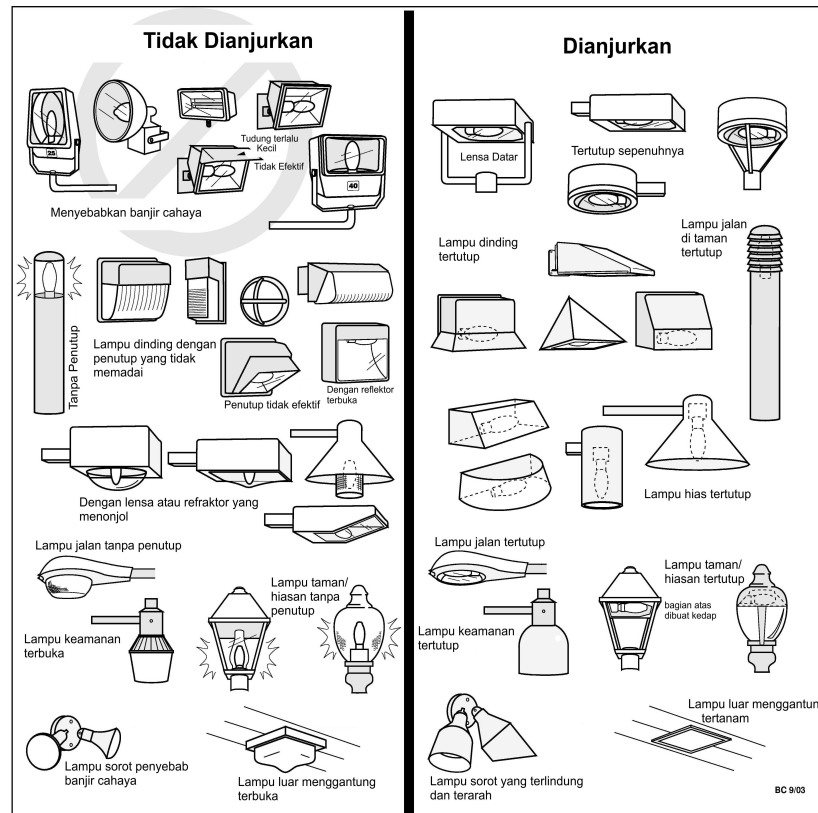
Rentang daya lampu pijar antara 0,1 Watt hingga sekitar 10.000 Watt. Guna meningkatkan *efficacy* lampu, biasnya filamen dibuat berbentuk kumparan. Untuk lampu pijar 60 Watt/120 Volt, panjang filamen biasanya hingga 2 meter.

Jenis Lampu	Keuntungan	Kerugian
Low pressure sodium (LPS)	• konsumsi energi paling rendah • usia relatif lama • menghasilkan terang yang konstan selama kala hidupnya	• *color rendering* paling buruk • bukan jenis lampu yang umum digunakan • sulit mengontrol cahaya yang dihasilkan (wadahnya besar)
High pressure sodium (HPS)	• konsumsi energi rendah • *color rendering* cukup • usia relatif lama • mudah mengontrol cahaya yang dihasilkan (wadahnya kecil)	• terang yang dihasilkan berkurang dengan sisa kala hidupnya • tidak tersedia untuk daya rendah
Metal halide (MH)	• *color rendering* yang baik • mudah diperoleh • mudah mengontrol cahaya yang dihasilkan (wadahnya kecil)	• efisiensi lebih rendah daripada LPS • terang yang dihasilkan berkurang dengan sisa kala hidupnya • warna cahaya yang dihasilkan berubah dengan sisa kala hidupnya • usia relatif singkat
Incandescent	• *color rendering* cukup • tersedia untuk daya rendah	• efisiensi buruk

Tabel 7
Perbandingan kualitatif berbagai jenis lampu.

Ada beberapa kiat yang dapat kita lakukan dalam menata lampu-lampu penerangan luar guna mereduksi cahaya berlebih yang tidak kita inginkan. Langkah-langkah tersebut adalah: **(1)** Tentukan apakah cahaya memang diperlukan, dan mengapa diperlukan. Gunakan hanya jika memang diperlukan. **(2)** Berikan cahaya sejumlah yang diperlukan untuk tugasnya; tidak terlalu banyak, juga tidak terlalu sedikit. **(3)** Arahkan cahaya hanya pada tempat yang dituju untuk diterangi. **(4)** Hindari sumber cahaya yang menyilaukan. **(5)** Kurangi cahaya yang menyusup atau "nyelonong" kemana-mana, dominan, yang justru menghalangi pemandangan sekitarnya. **(6)** Kurangi cahaya yang mengarah ke langit, yang dapat menimbulkan *sky glow*. **(7)** Gunakan cahaya hanya ketika diperlukan. Matikan lampu ketika tidak diperlukan. **(8)** Alangkah baiknya jika lampu-lampu penerangan luar dilengkapi sensor otomatis. Masih sering terlihat lampu-lampu penerang jalan menyala di siang hari. **(9)** Peredup cahaya variabel juga sangat dianjurkan, sehingga jumlah cahaya dapat diatur sesuai keperluan dengan mudah. **(10)** Maksimalkan penggunaan *daylighting*, yaitu penggunaan jendela dinding dan jendela atap untuk menerangi ruangan dengan bantuan cahaya alamiah. Dan yang tidak kalah penting, **(11)** mengurangi pemborosan energi.

The Institution of Lighting Engineers (ILE)

Gambar 22

Instalasi lampu penerangan luar yang "tidak dianjurkan" dan yang "dianjurkan".

International Dark-Sky Association (IDA)

Gambar 23

Contoh penggunaan tudung lampu yang "tidak dianjurkan" dan "dianjurkan".

III.6 Polusi cahaya dan keamanan & keselamatan

Sejak manusia gua pertama menemukan api, cahaya mulai digunakan untuk pertahanan diri terhadap binatang buas dan pemangsa lainnya. Dibandingkan dengan masa itu, saat ini penyediaan dan pengoperasian terhadap kebutuhan penerangan sudah sangat mudah dan murah.

Salah satu bentuk penggunaan penerangan oleh manusia modern tidak berbeda dengan leluhurnya dulu, yaitu berupa penerangan luar ruangan untuk kepentingan keamanan dan keselamatan. Lampu keamanan yang didesain, diinstalasi, dan dirawat dengan baik akan memberikan kenyamanan dan perasaan aman di lingkungan. Painter & Farrington (1999b) dan Pease (1999) meneliti keterkaitan antara peningkatan penggunaan cahaya dengan pengurangan kriminalitas. Saat ini ada dua teori utama tentang hal ini, yang *pertama* menyatakan peningkatan penggunaan cahaya akan meningkatkan pula penjagaan informal dari kemungkinan penyerangan (dampak dari bertambahnya visibilitas dan jumlah pengguna jalan pada suatu waktu). Sementara menurut teori *kedua*, peningkatan penggunaan cahaya berperan dalam mengundang maraknya investasi yang

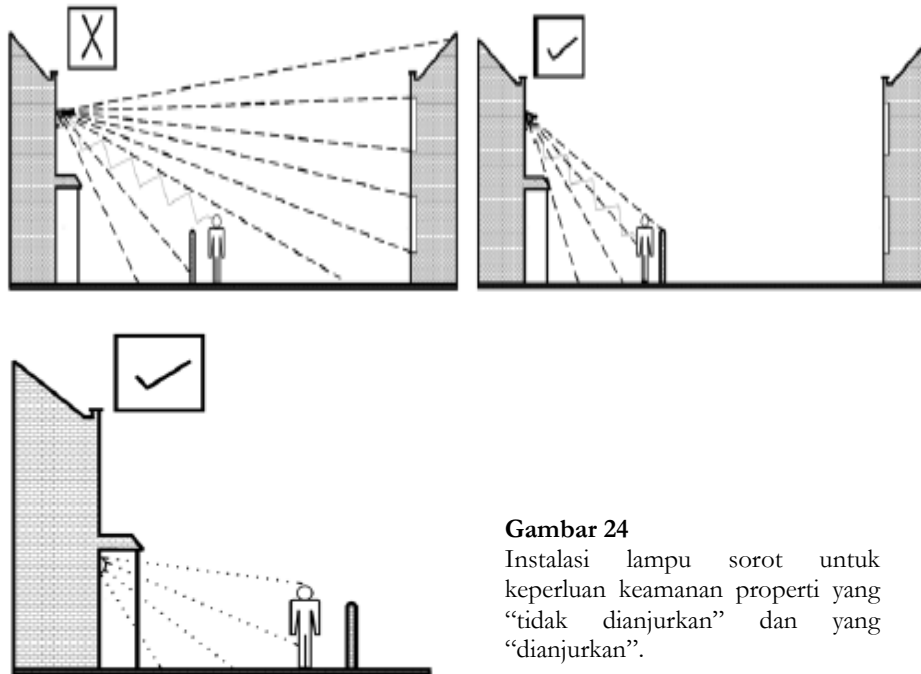
akan memajukan sektor ekonomi wilayah tersebut, menumbuhkan kebanggaan wilayah sekaligus kekerabatan komunitasnya sehingga hadir suatu kontrol sosial. Sayangnya, banyak kita jumpai penerangan untuk tujuan keamanan dengan instalasi yang tidak mempertimbangkan kecocokan dengan tugas yang diembannya dan mengabaikan pengaruhnya terhadap lingkungan sekitar.

Penerangan luar ruangan bagi rumah tinggal umumnya menjalankan salah satu atau kombinasi dari ketiga fungsi utama berikut ini: **estetika** –menyinari eksterior rumah dan lansekap, **keamanan** –ditempatkan di tiang atau bagian bangunan yang tinggi untuk menyinari area di sekitar rumah, dan **utilitas** –menyinari serambi dan jalan kendaraan untuk membantu lalu lintas dari dan menuju rumah dengan nyaman.

Sekarang sudah banyak lampu sorot yang dilengkapi dengan detektor untuk memindai gerakan para penyusup. Lampu sorot dan detektor tersebut sebaiknya dari jenis yang dapat diarahkan sedemikian rupa untuk hanya menyinari objek di dalam lingkungan yang ingin dilindungi. Ketika mengarahkan lampu sorot, yakinkan bahwa hanya daerah yang memerlukan penyinaranlah yang akan disinari oleh media penerangan tersebut; tidak perlu menyinari wilayah yang bukan menjadi tugasnya, sebab dapat menimbulkan gangguan bagi pihak lain *(light trespass)*. Untuk properti yang memerlukan penggunaan cahaya ekstra bagi keperluan keamanan, disarankan menggunakan lampu fluoresensi berdaya rendah (600 – 900 lumen atau setara dengan 9/11 Watt). Selain murah, lampu jenis ini lebih ramah lingkungan karena dapat mereduksi *glare* yang timbul dibandingkan dengan lampu halogen tungsten. Jadi, jelaslah bahwa *light trespass* dan *glare* harus mendapat perhatian khusus dalam proses instalasi lampu sorot.

The Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) menyediakan panduan desain dan pemasangan lampu sorot dengan salah satu tujuan menghindarkan lampu sorot mengarah tepat di ketinggian mata. Bila memungkinkan, pelindung lampu dapat pula digunakan. Untuk menentukan ketinggian penyangga/pendukung lampu sorot, CIE memberikan pertimbangan berikut ini:

- Semakin tinggi penyangga lampu sorot akan semakin efektif pula pengontrolan *spill light*. Lampu sorot dapat dibuat mengarah lebih ke bawah untuk menghasilkan berkas sinar yang lebih sempit, sehingga cukup hanya menyinari wilayah yang menjadi daerah tugasnya. Sementara dengan penyangga yang lebih rendah, seringkali lampu sorot diarahkan horisontal untuk mendapatkan berkas sinar yang lebih lebar. Hal ini tentu akan meningkatkan *spill light*.

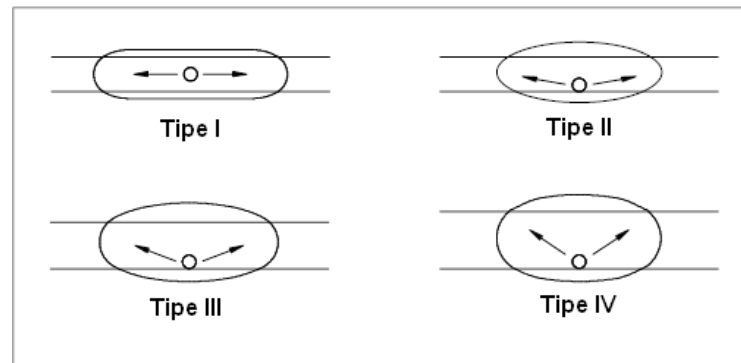
- Dengan penyangga yang lebih rendah, bagian terang lampu sorot menjadi lebih mudah terlihat sehingga dapat menimbulkan *glare*.

Gambar 24
Instalasi lampu sorot untuk keperluan keamanan properti yang "tidak dianjurkan" dan yang "dianjurkan".

The Institution of Lighting Engineers (ILE)

Kita sudah sangat akrab dengan ungkapan "semakin terang semakin baik". Faktanya, cahaya dengan intensitas yang kuat justru dapat menimbulkan kegagalan adaptasi *(mis-adaptation)* mata di malam hari.

Telah diketahui bahwa perlu waktu lebih lama bagi mata manusia untuk beradaptasi dari lingkungan yang terang ke lingkungan yang gelap dibandingkan dari tempat gelap ke tempat terang, terlebih lagi bagi kelompok usia lanjut. Karenanya dapat dimengerti bila banyak kecelakaan lalu lintas yang terjadi ketika pengemudi kendaraan meninggalkan tempat yang terang menuju tempat yang lebih gelap akibat kegagalan mata berespon dengan cepat terhadap perubahan lingkungan yang mendadak. Sesungguhnya, selain polusi cahaya, instalasi penerangan jalan umum yang tidak tepat juga dapat menimbulkan efek negatif lainnya, seperti warna sumber cahaya yang digunakan, gangguan penglihatan terkait dengan struktur penerangan, dan bahaya akibat kehadiran struktur di tepi jalan.

Tentu keberadaan penerangan jalan umum dimaksudkan untuk membantu pengguna jalan dalam berkendaraan dengan aman. Lampu penerangan jalan umum diklasifikasikan menurut distribusi cahaya dalam arah vertikal, arah samping, dan *cut-off*. Distribusi cahaya dalam arah vertikal dan samping berlaku menurut bentuk area yang

disinari (dikenal empat tipe distribusi). Kedua distribusi ini, arah vertikal dan samping, menjadi penting manakala ingin diketahui besar-kecilnya *light trespass* dari suatu sumber. Untuk meminimalisasi problem *light trespass* ini, kita harus menggunakan lampu dengan distribusi yang tepat dengan jalan yang akan diteranginya. Untuk ukuran jalan di kawasan permukiman misalnya, penggunaan tipe II distribusi tentu lebih cocok dibandingkan penggunaan tipe III.

Carl Shaflik

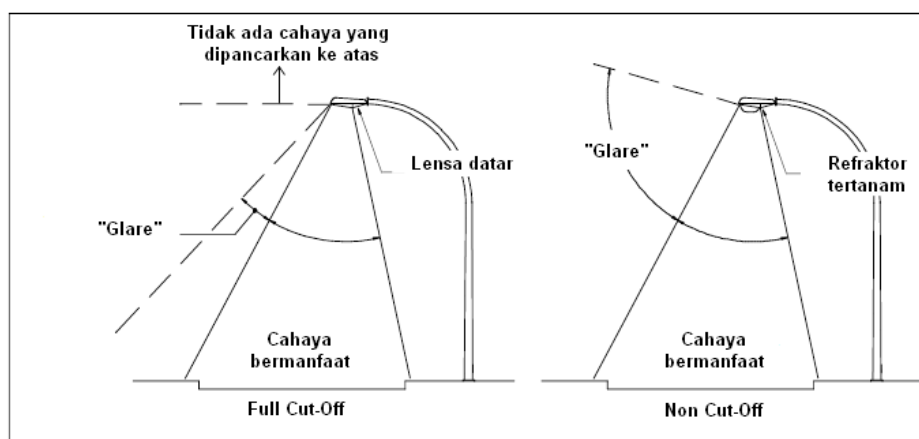
Gambar 25
Empat jenis distribusi cahaya yang keluar dari tudung lampu menurut bentuk area yang disinari.

Sebenarnya *light trespass* dapat dikontrol atau diminimalisasi dengan mengikuti saran-saran yang dikeluarkan oleh *Illuminating Engineering Society of North America* (IESNA 1999) seperti berikut ini:

- Pertimbangkan daerah sekeliling selama mendesain pencahayaan, dan pilihlah sistem lampu, lokasi, dan orientasi yang meminimalisasi *spill light* terhadap properti sekitar.
- Pilihlah sistem lampu yang dapat mengontrol distribusi intensitas.
- Gunakan lampu dengan tudung yang baik.
- Menjaga lampu sorot tetap mengarah ke bawah, sehingga seluruh berkas sinar jatuh di wilayah yang ingin disinari.

The Institution of Lighting Engineers (ILE) memiliki saran tentang batasan *light trespass* dalam bentuk jumlah cahaya yang jatuh ke jendela untuk berbagai wilayah (lihat Tabel 4).

Pada tahun 2000 *Illuminating Engineering Society of North America* (IESNA) mendefinisikan pula pengklasifikasian *cut-off* sistem penerangan luar ruangan yang terbagi atas empat kategori, yaitu:

- ***Full cut-off***: *luminous intensity* (dalam satuan candela) pada sudut ≥ 90° dari nadir (titik tepat di bawah sistem lampu) adalah 0 (nol), sedangkan pada sudut 80° ≤ sudut < 90° tidak lebih dari 10% nilai *luminous flux* (dalam satuan lumen) lampu yang digunakan.
- ***Cut-off***: *luminous intensity* (dalam satuan candela) pada sudut ≥ 90° dari nadir tidak lebih dari 2,5% nilai *luminous flux* (dalam satuan lumen) lampu yang digunakan, sedangkan pada sudut 80° ≤ sudut < 90° tidak lebih dari 10% nilai *luminous flux*-nya.
- ***Semicut-off***: *luminous intensity* (dalam satuan candela) pada sudut ≥ 90° dari nadir tidak lebih dari 5% nilai *luminous flux* (dalam satuan lumen) lampu yang digunakan, sedangkan pada sudut 80° ≤ sudut < 90° tidak lebih dari 20% nilai *luminous flux*-nya.
- ***Noncut-off:*** Tidak memiliki batasan *luminous intensity*.

Carl Shaflik

Gambar 26

Efek dari lampu penerangan jalan umum yang *full cut-off* dan *non cut-off*.

Klasifikasi Sistem lampu	Rentang *Luminous Flux* yang Diizinkan (direct upward)	Rentang *Luminous Flux* yang Diizinkan (antara 80° dan 90°)
Full cut-off	**0**	**0 – 11%**
Cut-off	**0 – 16%**	**0 – 11%**
Semicut-off	**0 – 31%**	**0 – 22%**

Tabel 8
Persentase rentang *luminous flux* yang diizinkan, baik yang mengarah ke atas maupun di zone *glare* (sudut antara 80° dan 90°) dari nadir menurut IESNA.

Sementara itu, distribusi *cut-off* penting dalam penentuan jumlah *glare* yang keluar dari tudung lampu. Tudung dari jenis *noncut-off* umumnya menggunakan lensa (refraktor) tertanam yang membuat cahaya lebih mudah tersebar keluar dari tudung namun menghasilkan lebih banyak *glare*. Berkebalikan dengan hal ini, tudung *full cut-off* mengganti penggunaan refraktor tertanam dengan lensa datar dari bahan gelas yang dapat mengontrol *glare* jauh lebih baik meskipun memerlukan desain yang presisi untuk menjaga keseragaman cahaya.

Seringkali *full cut-off* digunakan secara bergantian dengan *fully shielded* untuk maksud yang sama, padahal keduanya merupakan istilah yang berbeda. Istilah *full cut-off* digunakan untuk mendeskripsikan sistem lampu yang tidak menghasilkan cahaya yang mengarah ke atas, atau dengan kata lain tidak ada cahaya yang dipancarkan di atas horisontal. Definisi *full cut-off* menurut IESNA juga mensyaratkan batasan untuk *glare* pada sudut antara 80° dan 90°. Sementara itu, istilah *fully shielded* tidak mencakup adanya batasan intensitas cahaya pada daerah antara 80° and 90°. Semua sistem lampu menurut klasifikasi IESNA di atas dapat disebut *fully shielded*, namun belum tentu untuk klasifikasi menurut yang lain. Sebagai contoh adalah sistem lampu yang terdiri atas lampu 1000 lumen (berarti tanpa cahaya yang mengarah ke atas) namun dengan *luminous intensity* sebesar 150 candela di antara 80° dan 90°. Sistem lampu di atas, menurut kriteria IESNA, dapat dipastikan sebagai *fully shielded* dan bukan *full cut-off*.

Anggapan lainnya yang juga sering tidak tepat adalah menganggap sistem lampu dengan lensa datar berarti memenuhi kualifikasi sebagai *full cut-off*. Meskipun ada benarnya, anggapan di atas tidak selalu tepat. Bergantung pada struktur sistem lampu, pantulan cahaya dari bangunan ataupun jalanan dapat menghasilkan cahaya yang mengarah ke atas pula. Upaya untuk mengurangi

pantulan dari jalanan ini dapat dilakukan dengan menghindari penggunaan daya berlebih pada lampu di dalam tudung dan mengatur jarak antarsumber cahaya. Klasifikasi *full cut-off* dari IESNA turut menyertakan batasan jumlah cahaya di zone *glare* antara 80° dan 90°. Artinya penggunaan lensa datar tidak menjamin bahwa sistem lampu yang bersangkutan memenuhi kriteria sebagai *full cut-off*. Penggunaan tudung *full cut-off* selain dapat membantu mereduksi *sky glow* juga mencegah bagian terang lampu terlihat secara langsung, sehingga efek *glare* pun dapat dikurangi dengan desain yang ada.

Kritik yang umum tentang tudung *full cut-off* berkenaan dengan desainnya yang terlihat kurang estetik. Juga karena kemampuannya dalam mengarahkan cahaya, pemasangan tudung *full cut-off* kadangkala memerlukan keahlian tersendiri untuk memdapatkan efek maksimum. Kritik lainnya adalah lebih dekatnya jarak antarlampu yang dipasang dibandingkan seandainya lampu tersebut menggunakan tudung biasa untuk dapat menerangi panjang jalanan yang sama. Artinya, penggunaan sistem lampu *full cut-off* akan menambah biaya awal (jumlah lampu yang lebih banyak), biaya perawatan, biaya operasional, penggunaan energi, dan potensi polusi cahaya.

Lampu	Kala Hidup (jam)	*Illumination*	*Color Rendition Index*[2]	Biaya[3]	
				Operasional	Perawatan
LPS	18.000	0,315	0	$ 2,09	125 %
HPS	20.000[1]	0,513	30	$ 3,14	100 %
MH	10.000	0,384	70	$ 3,14	150 %

Tabel 9
Biaya operasional berbagai jenis lampu dengan daya 100 Watt.

1. menurut studi Cooper Lighting di Ottawa (1994)
2. > 20 memberikan *color rendering* yang cukup, >70 sangat baik
3. menurut studi di Amerika (Lighting Consultants, San Diego, Inc.)

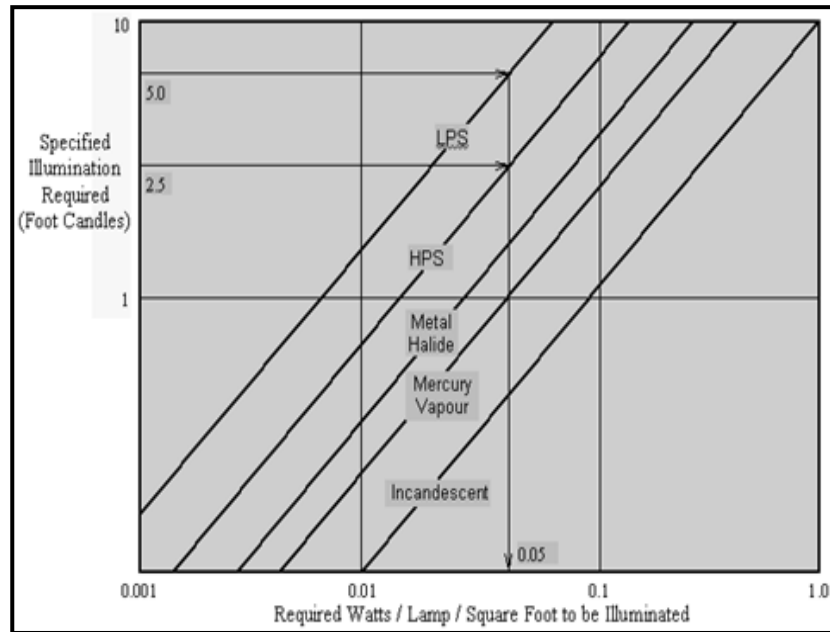
Tabel 9 memperlihatkan perbandingan dari tiga buah jenis lampu. Lampu HPS terlihat sebagai lampu yang paling ekonomis dari ketiganya. Data yang diperoleh dari Cooper Lighting di Ottawa menunjukkan pengurangan usia lampu yang ditimbulkan oleh musim dingin yang lebih dingin dari biasanya. Untuk penerangan yang memerlukan *color rendering* yang baik, lampu MH dapat menjadi pilihan meskipun lampu jenis ini lebih mahal dalam pengoperasiannya.

Jenis Desain	Deskripsi	Taksiran Biaya[1]
Desain tanpa *cut-off*	*Cobra Head* model standar	$ 150 – 200
Desain dengan *visor*	Tudung keluaran GE, Cooper	$ 45 – 55
Desain *sharp cut-off*	*Cobra Head* dengan lensa datar	$ 200
Desain *sharp cut-off*	Kemasan persegi[2]	$ 350

Tabel 10
Perbandingan biaya beragam jenis pencahayaan.

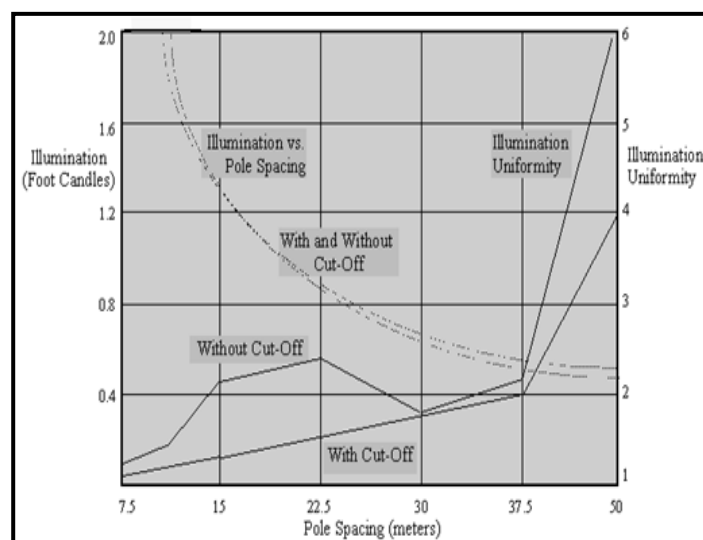
1. Harga bulan Februari 1995
2. Kemampuan kontrol cahaya yang lebih baik mengizinkan jarak antartiang yang lebih lebar

---

Tabel 10 di atas membandingkan taksiran biaya untuk berbagai jenis lampu berdaya 150 Watt. Biaya yang tercantum diperoleh dari distributor di Estern Ontario berdasarkan pemesanan lusinan buah unit lampu. Pembelian dalam jumlah besar ternyata hanya sedikit berpengaruh terhadap biaya yang harus dikeluarkan. Pengurangan biaya juga dapat diperoleh dari pembelian fiting lampu berdaya rendah. Pemerintah kota Ottawa telah membelanjakan sekitar $70 untuk fiting lampu 70 – 100 Watt. Masih dari tabel yang sama, terlihat bahwa biaya untuk jenis pencahayaan *flat glass cobra head* pada dasarnya sama dengan desain *cobra head* model standar. Untuk memperoleh gambaran yang lebih lengkap, biaya tersebut belum termasuk biaya instalasi (pondasi, tiang, kabel listrik di atas dan bawah tanah) yang berkisar antara $500 hingga $5000.

Rami M. Christpohy (Thesis Project, 2006)

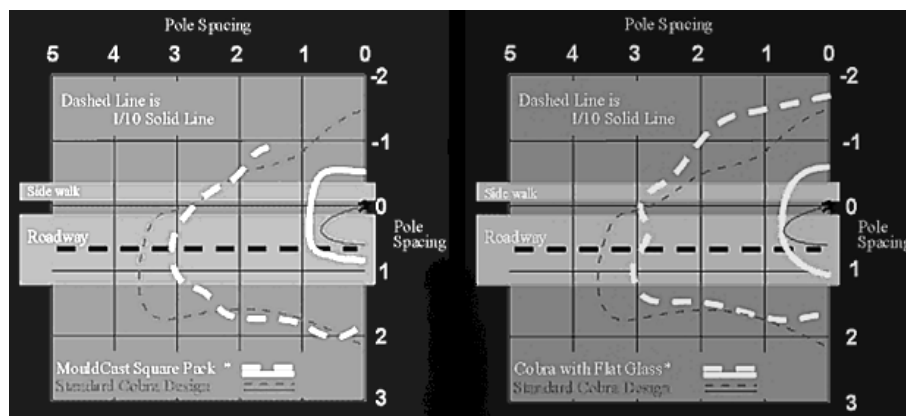
Gambar 27

Perbandingan efisiensi konversi listrik menjadi cahaya untuk beragam jenis lampu.

Gambar 27 memperlihatkan jumlah listrik yang diperlukan untuk menyinari suatu area menggunakan berbagai jenis lampu. Sebagai contoh, menggandakan *illumination* terhadap suatu area tanpa mengubah jumlah listriknya dapat dipenuhi dengan mengganti jenis lampu dan *ballast*-nya dari HPS menjadi LPS atau dari MH menjadi HPS. Dari gambar tersebut pun dapat terlihat sekilas, peningkatan efisiensi listrik melalui penggantian MV dan lampu pijar dengan lampu natrium.

Rami M. Christpohy (Thesis Project, 2006)

Gambar 28

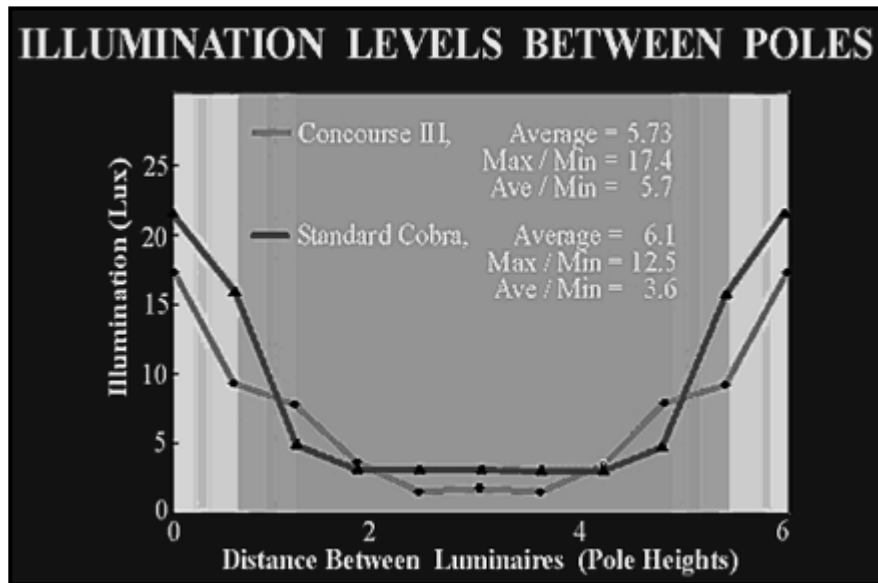
Keuntungan menggunakan desain *sharp cut-off.*

Perbandingan tingkat penyinaran dengan bertambahnya jarak dari tiang (garis terputus) untuk *cobra head* model standar dan *sharp cut-off* ditunjukkan dalam gambar 28. Gambar yang sama juga memperlihatkan keuntungan menggunakan pemfokus cahaya untuk mengarahkan cahaya langsung ke tempat yang memerlukan penyinaran (garis penuh). Pengaruh lensa pada *cobra head* model standar menghasilkan ketidakseragaman distribusi cahaya sejarak antara dua hingga empat kali tinggi lampu dari tanah. Bagi pejalan kaki dan pengendara motor, hal ini tampak sebagai pengurangan yang tajam tingkat penyinaran pada jarak yang jauh dari tiang.

Rami M. Christpohy (Thesis Project, 2006)

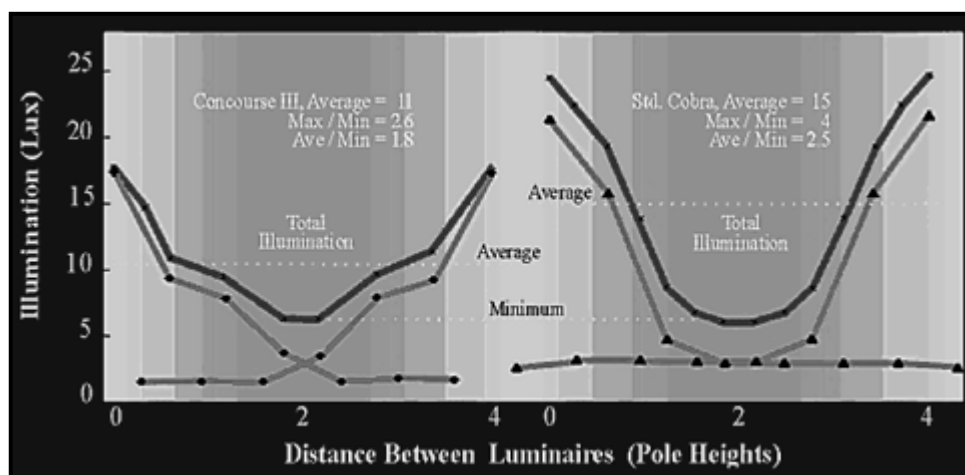
Gambar 29

Perbandingan penyinaran tapak *(foot print)* oleh *sharp cut-off* dan *cobra head.*

Kedua gambar di atas membandingkan penyinaran tapak dari *sharp cut-off* terhadap *cobra head* model standar (desain kotak sepatu dan lensa datar). Optika yang diaplikasikan pada sistem lampu ini telah dipilih yang dapat menghasilkan penyinaran terbaik. Meski pancaran cahaya *sharp cut-off* tidak sejauh yang dapat dilakukan *cobra head*, *sharp cut-off* justru memiliki daerah sinaran di bawah lampu yang lebih luas. Lebih jauh, desain *sharp cut-off* juga mampu memberikan penyinaran trotoar di belakang tiang dengan baik. Keunggulan ini tentu dapat dimanfaatkan untuk memangkas kebutuhan terhadap pemasangan penerangan khusus bagi pejalan kaki.

Kelakuan distribusi penyinaran untuk beragam sistem lampu ditunjukkan dalam gambar 30a dan 30b di bawah, yang diplotkan dengan data yang diperoleh dari studi oleh Ottawa Hydro.

Rami M. Christpohy (Thesis Project, 2006)

Gambar 30a

Dari gambar 30a terlihat bahwa *sharp cut-off* mengambil cahaya di bawah tiang dan memproyeksikannya ke kejauhan sejarak satu hingga dua kali ketinggian lampu dari tanah. Sebagai akibatnya, tingkat penyinaran tepat di bawah lampu dan pada setengah jarak antartiang lampu menjadi berkurang.

Rami M. Christpohy (Thesis Project, 2006)

Gambar 30b

Sementara gambar 30b menunjukkan bahwa untuk jarak antartiang yang lebih pendek, tingkat penyinaran *sharp cut-off* sama baiknya bahkan bisa lebih baik daripada yang ditunjukkan *cobra head*.

Dapat dikatakan bahwa *glare* merupakan gangguan terbesar yang terkait langsung dengan faktor keselamatan dalam persoalan polusi cahaya ini. *Glare* dapat dikelompokkan menjadi tiga bentuk, yaitu:

1) ***Blinding glare***: bentuk silau dengan intensitas sangat kuat yang membuat hilangnya kemampuan lihat selama beberapa saat meskipun sumber telah dihilangkan. Efek seperti ini paling sering dialami oleh pengendara dari arah berlawanan dengan pengendara lain yang lupa mematikan lampu sorot kendaraannya *(high beam headlight)*. *Blinding glare* sangat berpotensi dalam menimbulkan kecelakaan lalu lintas.
2) ***Disability glare***: Dikenal pula sebagai ”veiling luminance” yang mengurangi unjuk kerja penglihatan. *Disability glare* timbul akibat sebaran cahaya di dalam mata sehingga mengurangi kekontrasan citra yang terbentuk di retina. Analogi untuk gangguan ini seperti lampu di ruang bioskop yang dinyalakan di akhir cerita, yang membuat “hilang”nya gambar yang masing terpampang di layar. Dalam perspektif manajemen jalan raya, *disability glare* menimbulkan dampak yang serius karena mengurangi kemampuan pengendara dalam melihat atau membedakan objek dengan jelas.
3) ***Discomfort glare***: bentuk silau yang menimbulkan ketidaknyamanan, meskipun tidak mengganggu unjuk kerja penglihatan. *The Illuminating Engineering Society* (IES) telah melakukan studi dan melaporkan bahwa *discomfort glare* dapat menimbulkan kelelahan yang berdampak pada kesalahan mengemudi *(driving error)*. Dibandingkan kedua bentuk lainnya, *glare* jenis ini sangat subjektif dan tidak mudah dikuantifikasi meskipun beberapa langkah hukum telah dilakukan untuk menerapkan batasan jumlah *discomfort glare* yang diizinkan dari suatu sistem lampu. *California Motor Vehicle Code* membatasi *luminance* suatu sumber cahaya, dalam cakupan 10° dari garis pandang pengendara, tidak melebihi 1000 kali *luminance* minimum dalam medan pandang.

International Dark-Sky Association (IDA)

Gambar 31

Glare yang ditimbulkan oleh lampu penerangan jalan umum dapat menggangu penglihatan pengendara yang berakibat pada kecelakaan lalu lintas.

III.7 Polusi cahaya dan kesehatan

Cahaya sangat mempengaruhi kehidupan makhluk hidup. Studi tentang topik ini dikenal sebagai fotobiologi.

Spektrum cahaya dan durasi penyinaran telah diketahui mempengaruhi pertumbuhan tanaman, meski masih sedikit penelitian yang dilakukan untuk mengkaji masalah ini. Telah diketahui pula bahwa frekuensi dan intensitas cahaya mengatur pertumbuhan, kembang, dan berbuahnya tanaman. Pada kasus di mana lampu-lampu penerangan jalan berada dekat dengan cabang pohon, dilaporkan munculnya kuncup-kuncup daun lebih awal dari yang seharusnya pada pohon-pohon tersebut. Demikian pula dengan penggunaan pola terang-gelap untuk mengontrol pertumbuhan dan pematangan seksual kawanan unggas telah menjadi topik riset secara ekstensif dan diketahui dengan baik. Selama dekade terakhir telah dilakukan usaha untuk memahami efek biologis cahaya terhadap manusia. Studi mendalam tentang topik ini meliputi regulasi hormon, respons kekebalan tubuh, respons psikologi, serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan perkembangan manusia.

Mandi cahaya terang-benderang di malam hari juga berdampak pada kesehatan mata anak-anak. Dalam suatu eksperimen yang dilakukan di Amerika Serikat, anak-anak dengan usia di bawah dua tahun yang tidur dengan paparan cahaya, memiliki kemungkinan lima kali lebih besar untuk mengalami cacat mata miopi dibandingkan dengan kelompok anak-anak yang tidur dalam suasana gelap. Para pakar percaya, cahaya buatan di malam hari merangsang bola mata untuk tumbuh lebih cepat pada anak-anak

berusia kurang dari dua tahun. Survei yang dilakukan terhadap 479 orang tua tentang cara tidur putra-putri mereka sebelum berusia dua tahun mendapatkan hasil 10% yang menderita gangguan penglihatan adalah anak-anak yang tidur dalam kegelapan. Sementara 34% penderita adalah anak-anak yang tidur dengan cahaya alami malam, dan sebesar 55% penderita diidentifikasi sebagai kelompok anak yang tidur dengan cahaya buatan yang terpasang sepanjang malam.

Riset medis yang dilakukan untuk melihat pengaruh cahaya berlebih pada tubuh manusia, mendapati bahwa berbagai gangguan kesehatan boleh jadi ditimbulkan oleh polusi cahaya. Berangkat dari hal ini, beberapa buku pegangan desain pencahayaan telah menggunakan kesehatan manusia sebagai kriteria di dalam mendesain pencahayaan ruangan dengan tepat. Efek paparan cahaya berlebih terhadap kesehatan tubuh sangat beragam, mulai dari sakit kepala, kelelahan fisik, stres, perasaan gelisah, hingga penurunan fungsi seksual.

Cahaya lampu fluoresens dalam kadar normal di kantor-kantor sudah cukup untuk dapat menaikkan tekanan darah sekitar delapan poin. Terdapat pula sejumlah bukti bahwa paparan cahaya berkepanjangan memicu hilangnya kemampuan seksual. Bukti yang diperoleh di Amerika Serikat menunjukkan bahwa cahaya dalam kadar tertentu di lingkungan perkantoran memicu stres dan kesalahan dalam bekerja.

Studi di bidang medis berhasilkan menunjukkan pula bahwa paparan cahaya buatan pada malam hari, terutama dalam rentang tengah malam hingga pukul 4 pagi, dapat mempengaruhi kesehatan sistem endokrin manusia. Normalnya, dalam tubuh manusia terjadi peningkatan kadar melatonin antara pukul 2 hingga 4 pagi. Meskipun demikian, prosesnya sendiri sudah dimulai sejak awal malam di mana gelap datang dan cahaya buatan banyak dinyalakan. Bahkan cahaya dalam kadar yang kecil sekalipun dapat menekan produksi hormon melatonin yang akan mempengaruhi pola tidur dan perbaikan sistem kekebalan tubuh kita. Sebagai contoh, paparan cahaya sebesar 500 – 1000 lux selama 1 hingga 2 jam sebelum tidur dapat menekan produksi melatonin sebesar 40 sampai 60%. Orang-orang yang tetap bekerja dalam rentang waktu di atas memiliki peluang yang lebih besar untuk terserang kanker payudara. Telah terbukti bahwa melatonin dapat menghentikan pertumbuhan sel kanker payudara dalam laboratorium hewan. Kelompok riset di Amerika Serikat telah memiliki banyak bukti untuk menunjukkan bagaimana aktivitas malam hari di bawah paparan cahaya dapat mempertinggi kemungkinan kanker payudara. Hal ini sangat potensial terjadi di negara-negara maju yang sektor industrinya menerapkan jam kerja siang dan malam hari kepada

para pekerjanya. Bukti-bukti awal yang menghubungkan pengaruh buruk cahaya dengan kanker payudara dimunculkan dalam laporan yang disajikan oleh Robert A. Han dari *Center for Disease Control and Prevention* di Atalanta, Amerika Serikat.

IV. Penutup

Melihat luasnya cakupan problem dan dampak global polusi cahaya, menjadi cukup beralasan untuk menjadikan isu ini sebagai isu internasional yang harus dicarikan solusinya bersama-sama. Untuk menuju ke arah *win-win solution* bagi semua pihak diperlukan kesamaan persepsi dan pendidikan publik adalah langkah strategis jangka panjang untuk mewujudkan hal tersebut yang mendesak untuk ditempuh.

Di tingkat global, *International Dark-Sky Association* (IDA) telah meminta kepada negara-negara di dunia untuk bersama-sama memelihara warisan langit malam berbintang dan melindungi lingkungan langit malam melalui penggunaan hanya penerangan luar ruangan yang berkualitas. Langkah-langkah yang telah ditempuh meliputi:

- Ajakan kepada seluruh kepala pemerintahan di dunia untuk melindungi lingkungan langit malam dari polusi cahaya sehingga generasi mendatang tetap dapat menikmati keindahan langit malam yang menjadi satu-satunya jendela kita menuju alam semesta tak berhingga yang kita tinggali, warisan tak ternilai bagi seluruh kemanusiaan, yang selama berabad-abad telah mendampingi kehidupan para leluhur kita, yang memberikan inspirasi bagi kebudayaan, seni, sastra, filsafat, dan agama, elemen kunci dari pertumbuhan pendidikan.
- Ajakan kepada UNESCO *(United Nation of Education, Scientific, and Culture Organization)* dan Perserikatan Bangsa-Bangsa untuk mulai mendeklarasikan langit malam sebagai warisan kemanusiaan, dengan tujuan untuk melindungi integritas langit malam dan persepsi kita tentang alam semesta, menjaga keberlangsungan studi dan riset astronomi baik amatir maupun profesional, meningkatkan kualitas penerangan luar ruangan, mengurangi kelelahan mata yang ditimbulkan oleh polusi cahaya, meningkatkan keamanan berkendaraan, mengurangi konsumsi energi untuk penerangan luar ruangan yang tidak perlu, menyelamatkan siklus biologi alamiah, dan keseimbangan ekosistem.
- Ajakan kepada dewan pemerintahan di dunia untuk mengadopsi hukum dalam upaya memerangi polusi cahaya dan mengontrol kecerlangan langit malam.

Sementara itu di tingkat lokal, hal-hal yang dapat dilakukan pemegang otoritas untuk mengurangi dampak polusi cahaya ini antara lain:

- Melakukan investigasi untuk mendapatkan model *standard lighting*.
- Meningkatkan efisiensi pencahayaan dengan mengenalkan model pencahayaan *full cut-off* di seluruh rumah tinggal, hunian dan kawasan komersial, serta industri.
- Menetapkan jangka waktu bagi penggantian penerangan luar ruangan yang terpasang saat ini dengan pencahayaan *full cut-off*.
- Melakukan penelitian atas dampak penerangan berlebih yang dilakukan manusia terhadap isu-isu sosial seperti kriminalitas, gangguan tidur *(sleep loss)*, stres, performa kerja, dan kesehatan.
- Melakukan penelitian untuk lebih memahami dampak yang ditimbulkan polusi cahaya atas lingkungan, seperti pengaruhnya terhadap satwa air, ganggang biru-hijau, kehidupan liar nokturnal, migrasi kawanan burung, dan lain-lain.

Bagaimana dengan Observatorium Bosscha? Observatorium tertua di Asia Tenggara ini memang belum menjadi anggota IDA. Meskipun demikian, Observatorium Bosscha menaruh perhatian besar terhadap problem polusi cahaya ini terkait dengan perubahan kondisi yang semakin mengarah ke buruknya kualitas daya dukung lingkungan sekitar terhadap keberlangsungan aktivitas ilmiahnya. Kondisi langit malam di sekitar Observatorium Bosscha selama dua puluh tahun terakhir ini memang sudah sangat terganggu akibat polusi cahaya dari sekitar. Penggunaan lampu pijar biasa untuk penerangan, di daerah dekat observatorium, dengan daya kecil disarankan karena lampu jenis ini tidak menghasilkan garis-garis emisi yang dapat mengkontaminasi data spektrum dari benda langit.

Gambar 32
Lampu CFL dan pola spektrum yang dihasilkan. Terlihat kehadiran sejumlah garis emisi (vertikal terang) pada spektrum kontinunya.

International Dark-Sky Association (IDA)

Lampu jenis CFL *(Compact Fluorescent Lamp)* jelas dapat menghasilkan garis-garis emisi tersebut. Lampu pijar memang tergolong tidak efisien, karena sebagian daya yang dipakai berubah menjadi panas. Sekalipun demikian, lampu hemat energi yang semakin meluas digunakan dewasa ini (yang berkualitas baik, walaupun cukup mahal, tetapi tahan lama) untuk wilayah tidak terlalu jauh dari observatorium, masih dapat ditoleransi (daya sekitar 3 Watt), asalkan diberi tudung yang memadai dan diarahkan tegak lurus ke tanah. Diharapkan dengan kesamaan visi dan misi melalui pendidikan publik, semua elemen masyarakat dapat mewujudkan lingkungan yang bersahabat dengan alam dalam pengertian seluas-luasnya untuk kebaikan semua pihak.

LAMPIRAN

Model Outdoor Lighting Ordinance for Cities and Towns

(http://cfa.www.harvard.edu/~graff/nelpag/ordbylow.html)
Following is a model text for an outdoor night-lighting ordinance that cities and towns can use, **based on ordinances that have been successfully implemented in Kennebunkport, Maine, and Tucson, Arizona**. Replace the word "Anytown" with the name of your city or town. Of course, terms such as "Town", "Town Meeting", "Code Enforcement Officer", "building official", "Subdivision Plat", "Board of Selectmen", and "Lighting Committee" may need to be changed to conform to local usages.

STATEMENT OF NEED AND PURPOSE:

Good outdoor lighting at night benefits everyone. It increases safety, enhances the Town's night time character, and helps provide security. New lighting technologies have produced lights that are extremely powerful, and these types of lights may be improperly installed so that they create problems of excessive glare, light trespass, and higher energy use. Excessive glare can be annoying and may cause safety problems. Light trespass reduces everyone's privacy, and higher energy use results in increased costs for everyone. There is a need for a lighting ordinance that recognizes the benefits of outdoor lighting and provides clear guidelines for its installation so as to help maintain and compliment the Town's character. Appropriately regulated, and properly installed, outdoor lighting will contribute to the safety and welfare of the residents of the Town.

This ordinance is intended to reduce the problems created by improperly designed and installed outdoor lighting. It is intended to eliminate problems of glare, minimize light trespass, and help reduce the energy and financial costs of outdoor lighting by establishing regulations which limit the area that certain kinds of outdoor-lighting fixtures can illuminate and by limiting the total allowable illumination of lots located in the Town of Anytown.

All business, residential, and community driveway, sidewalk and property luminaires should be installed with the idea of being a "good neighbor", with attempts to keep unnecessary direct light from shining onto abutting properties or streets.

ARTICLE 1

1.1. DEFINITIONS:

For the purposes of this Ordinance, terms used shall be defined as follows:

Direct Light: Light emitted directly from the lamp, off of the reflector or reflector diffuser, or through the refractor or diffuser lens, of a luminaire.

Fixture: The assembly that houses the lamp or lamps and can include all or some of the following parts: a housing, a mounting bracket or pole socket, a lamp holder, a ballast, a reflector or mirror, and/or a refractor or lens.

Flood or Spot light: Any light fixture or lamp that incorporates a reflector or a refractor to concentrate the light output into a directed beam in a particular direction.

Fully-shielded lights: Outdoor light fixtures shielded or constructed so that no light rays are emitted by the installed fixture at angles above the horizontal plane as certified by a photometric test report.

Glare: Light emitting from a luminaire with an intensity great enough to reduce a viewer's ability to see, and in extreme cases causing momentary blindness.

Grandfathered luminaires: Luminaires not conforming to this code that was in place at the time this code was voted into effect. When an ordinance "grandfathers" a luminaire, it means that such already-existing outdoor lighting does not need to be changed unless a specified period is specified for adherence to the code.

Height of Luminaire: The height of a luminaire shall be the vertical distance from the ground directly below the centerline of the luminaire to the lowest direct-light-emitting part of the luminaire.

Indirect Light: Direct light that has been reflected or has scattered off of other surfaces.

Lamp: The component of a luminaire that produces the actual light.

Light Trespass: The shining of light produced by a luminaire beyond the boundaries of the property on which it is located.

Lumen: A unit of luminous flux. One footcandle is one lumen per square foot. For the purposes of this Ordinance, the lumen-output values shall be the INITIAL lumen output ratings of a lamp.

Luminaire: This is a complete lighting system, and includes a lamp or lamps and a fixture.

Outdoor Lighting: The night-time illumination of an outside area or object by any man-made device located outdoors that produces light by any means.

Temporary outdoor lighting: The specific illumination of an outside area of object by any man-made device located outdoors that produces light by any means for a period of less than 7 days, with at least 180 days passing before being used again.

ARTICLE 2

2.1. REGULATIONS:

All public and private outdoor lighting installed in the Town of Anytown shall be in conformance with the requirements established by this Ordinance. All previous language in Anytown bylaws and ordinances regarding outdoor lighting is replaced with this ordinance.

2.2. CONTROL OF GLARE -- LUMINAIRE DESIGN FACTORS:

A. Any luminaire with a lamp or lamps rated at a total of MORE than 1800 lumens, and all flood or spot luminaires with a lamp or lamps rated at a total of MORE than 900 lumens shall not emit any direct light above a horizontal plane through the lowest direct-light-emitting part of the luminaire.

B. Any luminaire with a lamp or lamps rate at a total of MORE than 1800 lumens, and all flood or spot luminaires with a lamp or lamps rated at a total of MORE than 900 lumens, shall be mounted at a height equal to or less than the value 3 + (D/3), where D is the distance in feet to the nearest property boundary. The maximum height of the luminaire may not exceed 25 feet.

2.3. EXCEPTIONS TO CONTROL OF GLARE:

A. Any luminaire with a lamp or lamps rated at a total of 1800 lumens or LESS, and all flood or spot luminaires with a lamp or lamps rated at 900 lumens or LESS, may be used without restriction to light distribution or mounting height, except that if any spot of flood luminaire rated 900 lumens or LESS is aimed, directed, or focused such as to cause direct light from the luminaire to be directed toward residential buildings on adjacent or nearby land, or to create glare perceptible to persons operating motor vehicles on public ways, the luminaire shall be redirected or its light output controlled as necessary to eliminate such conditions.

B. Luminaires used for public-roadway illumination may be installed at a maximum height of 25 feet and may be positioned at that height up to the edge of any bordering property.

C. All temporary emergency lighting need by the the Police or Fire Departments or other emergency services, as well as all vehicular luminaires, shall be exempt from the requirements of this article.

D. All hazard warning luminaires required by Federal regulatory agencies are exempt from the requirements of this article, except that all luminaries used must be red and

must be shown to be as close as possible to the Federally required minimum lumen output requirement for the specific task.

E. Luminaires used primarily for sign illumination may be mounted at any height to a maximum of 25 feet, regardless of lumen rating.

F. Law Governing Conflicts. Where any provision of federal, state, county, or town statutes, codes, or laws conflicts with any provision of this code, the most restrictive shall govern unless otherwise regulated by law.

2.4. OUTDOOR ADVERTISING SIGNS.

A. Top Mounted Fixtures Required. Lighting fixtures used to illuminate an outdoor advertising sign shall be mounted on the top of the sign structure. All such fixtures shall comply with the shielding requirements of Section 2.2. Bottom-mounted outdoor advertising-sign lighting shall not be used.

B. Outdoor advertising signs of the type constructed of translucent materials and wholly illuminated from within do not require shielding. Dark backgrounds with light lettering or symbols are preferred, to minimize detrimental effects. Unless conforming to the above dark background preference, total lamp wattage per property shall be less than 41 watts.

C. Compliance Limit. Existing outdoor advertising structures shall be brought into conformance with this Code within ten years from the date of adoption of this provision.

D. Prohibitions. Electrical illumination of outdoor advertising off-site signs between the hours of 11:00 p.m. and sunrise is prohibited.

2.5. RECREATIONAL FACILITIES.

A. Any light source permitted by this Code may be used for lighting of outdoor recreational facilities (public or private), such as, but not limited to, football fields, soccer

fields, baseball fields, softball fields, tennis courts, or show areas, provided all of the following conditions are met:

B. All fixtures used for event lighting shall be fully shielded as defined in Section 2.2 of this Code, or be designed or provided with sharp cut-off capability, so as to minimize up-light, spill-light, and glare.

C. All events shall be scheduled so as to complete all activity before or as near to 10:30 p.m. as practical, but under no circumstances shall any illumination of the playing field, court, or track be permitted after 11:00 p.m. except to conclude a scheduled event that was in progress before 11:00 p.m. and circumstances prevented concluding before 11:00 p.m.

2.6. PROHIBITIONS.

A. Laser Source Light. The use of laser source light or any similar high intensity light for outdoor advertising or entertainment, when projected above the horizontal is prohibited.

B. Searchlights. The operation of searchlights for advertising purposes is prohibited.

C. Outdoor Advertising Off-Site Signs. Electrical illumination of outdoor advertising off-site signs is prohibited between the hours of 11:00 p.m. and sunrise.

2.7. TEMPORARY OUTDOOR LIGHTING.

Any temporary outdoor lighting that conforms to the requirements of this Ordinance shall be allowed. Nonconforming temporary outdoor lighting may be permitted by the Board of Selectmen after considering:

A. The public and/or private benefits that will result from the temporary lighting;

B. Any annoyance or safety problems that may result from the use of the temporary lighting;

C. The duration of the temporary nonconforming lighting. The applicant shall submit a detailed description of the proposed temporary nonconforming lighting to the Board of Selectmen, who shall consider the request at a duly called meeting of the Board of Selectmen. Prior notice of the meeting of the Board of Selectmen shall be given to the applicant and to the Anytown Lighting Committee. The Board of Selectmen shall render its decision on the temporary lighting request within two weeks of the date of the meeting. A failure by the Board of Selectmen to act on a request within the time allowed shall constitute a denial of the request.

ARTICLE 3

3.1. EFFECTIVE DATE AND GRANDFATHERING OF NONCONFIRMING LUMINAIRES:

This ordinance shall take effect immediately upon approval by the voters of the Town of Anytown at an annual or special Town Meeting and shall supersede and replace all previous ordinances pertaining to outdoor lighting.

All luminaires lawfully in place prior to the date of the Ordinance shall be grandfathered. However, any luminaire that replaces a grandfathered luminaire, or any grandfathered luminaire that is moved, must meet the standards of this Ordinance. Advertising signs are grandfathered only for a period of ten years, as specified in section 2.4.C.

Grandfathered luminaires that direct light toward streets or parking lots that cause disability glare to motorists or cyclists should be either shielded or re-directed within 90 days of notification, so that the luminaries do not cause a potential hazard to motorists or cyclists.

ARTICLE 4

4.1. NEW SUB-DIVISION CONTRUCTION.

A. Submission Contents. The applicant for any permit required by any provision of the laws of this jurisdiction in connection with proposed work involving outdoor lighting fixtures shall submit (as part of the application for permit) evidence that the proposed work will comply with this Code. The submission shall contain but shall not necessarily

be limited to the following, all or part of which may be part or in addition to the information required elsewhere in the laws of this jurisdiction upon application for the required permit:

Plans indicating the location on the premises, and the type of illuminating devices, fixtures, lamps, supports, reflectors, and other devices;

Description of the illuminating devices, fixtures, lamps, supports, reflectors, and other devices and the description may include, but is not limited to, catalog cuts by manufacturers and drawings (including sections where required);

Photometric data, such as that furnished by manufacturers or similar showing the angle of cut off or light emissions.

B. Additional Submission. The above required plans, descriptions an data shall be sufficiently complete to enable the plans examiner to readily determine whether compliance with the requirements of this Code will be secured. If such plans, descriptions and data cannot enable this ready determination, by reason of the nature or configuration of the devices, fixtures, or lamps proposed, the applicant shall additionally submit as evidence of compliance to enable such determination such certified reports of tests as will do so provided that these tests shall have been performed and certified by a recognized testing laboratory.

C. Subdivision Plat Certification. If any subdivision proposes to have installed street or other common or public area outdoor lighting, the final plat shall contain a statement certifying that the applicable provisions of the Town of Anytown Outdoor Lighting Code will be adhered to.

D. Lamp or Fixture Substitution. Should any outdoor light fixture, or the type of light source therein, be changed after the permit has been issued, a change request must be submitted to the building official for his approval, together with adequate information to assure compliance with this code, which must be received prior to substitution.

ARTICLE 5

5.1. NOTIFICATION REQUIREMENTS:

A. The Town of Anytown building permit shall include a statement asking whether the planned project will include any outdoor lighting.

B. Within 30 days of the enactment of this ordinance, the Code Enforcement Officer shall send a copy of the Outdoor Lighting Ordinance, with cover letter to all local electricians and local electric utility (including at least those in the Towns of Anytown, [list immediately-adjacent towns here], as listed in the Yellow Pages).

ARTICLE 6

6.1. VIOLATIONS, LEGAL ACTIONS, AND PENALTIES:

A. Violation. It shall be a civil infraction for any person to violate any of the provisions of this Code. Each and every day during which the violation continues shall constitute a separate offense.

B. Violations and Legal Actions: If, after investigation, the Code Enforcement Officer finds that any provision of the Ordinance is being violated, he shall give notice by hand delivery or by certified mail, return-receipt requested, of such violation to the owner and/or to the occupant of such premises, demanding that violation be abated within thirty (30) days of the date of hand delivery or of the date of mailing of the notice. If the violation is not abated within the thirty-day period, the Code Enforcement Officer may institute actions and proceedings, either legal or equitable, to enjoin, restrain, or abate any violations of this Ordinance and to collect the penalties for such violations.

C. Penalties: A violation of this Ordinance, or any provision thereof, shall be punishable by a civil penalty of not less than fifty dollars nor more than one thousand dollars for any individual (and not more than ten thousand dollars for any corporation, association, or other legal entity) for each violation. The imposition of a fine under this Code shall not be suspended. Each day of violation after the expiration of the thirty-day period provided in paragraph B shall constitute a separate offense for the purpose of calculating the civil penalty.

Tucson and Pima County Arizona
Outdoor Lighting Control Ordinances

Text of the ordinance is courtesy of the International Dark-Sky Association

Ordinance No. 8210. Tucson/Pima County Outdoor Lighting Code, 1994 Edition (This is the City of Tucson version, with a few notes of differences to the County Code.) Passed by the Mayor and Council of the City of Tucson, Arizona, 21 March 1994.

Section 1. Purpose and Intent. The purpose of this Code is to provide standards for outdoor lighting so that its use does not unreasonably interfere with astronomical observations. It is the intent of this Code to encourage, through the regulation of the types, kinds, construction, installation, and uses of outdoor electrically powered illuminating devices, lighting practices and systems to conserve energy without decreasing safety, utility, security, and productivity while enhancing nighttime enjoyment of property within the jurisdiction.

Section 2. Conformance with Applicable Codes. All outdoor electrically powered illuminating devices shall be installed in conformance with the provisions of this Code, the Building Code, the Electrical Code, and the Sign Code of the jurisdiction as applicable and under appropriate permit and inspection.

Section 3. Approved Materials and Methods of Construction or Installation/Operation. The provisions of this Code are not intended to prevent the use of any design, material, or method of installation or operation not specifically prescribed by this Code, provided any such alternate has been approved. The building official may approve any such proposed alternate providing he finds that it:
a. provides at least approximate equivalence to that applicable specific requirements of this Code
b. is otherwise satisfactory and complies with the intent of this Code; or
c. has been designed or approved by a registered professional engineer and content and function promotes the intent of this Code.

Section 4. Definitions. As used in this Code, unless the context clearly indicates, certain word and phrases used in this chapter shall mean the following:

Sec. 4.1. "Person" means any individual, tenant, lessee, owner, or any commercial entity including but not limited to firm, business, partnership, joint venture or corporation.

Sec. 4.2. "Installed" means the attachment, or assembly fixed in place, whether or not connected to a power source, of any outdoor light fixture.

Sec. 4.3. "Outdoor light fixture" means outdoor electrically powered illuminating devices, outdoor lighting or reflective surfaces, lamps and similar devices, permanently installed or portable, used for illumination or advertisement. Such devices shall include, but are not limited to search, spot, and flood lights for:

1. buildings and structures;
2. recreational areas;
3. parking lot lighting;
4. landscape lighting;
5. billboards and other signs (advertising or other);
6. street lighting;
7. product display area lighting;
8. building overhangs and open canopies.

Sec. 4.4. "Area A" means the circular area, thirty-five miles in radius, the center of which is the center of the Kitt Peak National Observatory; the circular area, twenty-five miles in radius, the center of which is the center of Mount Hopkins Observatory; while the boundary lines for Area A around Mt. Lemmon are defined as: The Pinal County line on the north, along the center line of the Santa Cruz River, to the center line of the Rillito Creek, to the center line of Tanque Verde Creek with the junction to the northern border of the Saguaro National Monument, then along that border until it ends on the east side and bends east to the County line.

Sec 4.5. "Area B" means all area outside Area A and outside the territorial limits of every Indian reservation lying wholly or partially within Pima County.

Section 5. Shielding. All nonexempt outdoor lighting fixtures shall have shielding as required by Table 5 of this Code.

Sec. 5.1. "Fully shielded" means outdoor light fixtures shielded or constructed so that no light rays are emitted by the installed fixture at angles above the horizontal plane as certified by a photometric test report.

Sec. 5.2. "Partially shielded" means outdoor light fixtures shielded or constructed so that no more than ten percent of the light rays are emitted by the installed fixture at angles above the horizontal plane as certified by a photometric test report.

Table 11: Shielding Requirements		
	Area A	Area B
Fixture Lamp Type	Shielded	Shielded
Low pressure sodium(1)	Partially	Partially
High pressure sodium	Prohibited except fully shielded on arterial streets and collector streets of 100 ft or more in right of way width.	Fully
Metal halide	Prohibited(7)	Fully(2,6)
Fluorescent	Fully(3,5)	Fully(3,5)
Quartz(4)	Prohibited	Fully
Incandescent greater than 160 watt	Fully	Fully
Incandescent 160 watt or less	None	None
Any light source of 50 watt or less	None	None
Glass tubes filled with	None	None

neon, argon, krypton		
Other sources	As approved by the Building Official	

Footnotes:

1. This is the preferred light source to minimize undesirable light emission into the night sky affecting astronomical observations. Fully shielded fixtures are preferred but not required.
2. Metal halide lighting, used primarily for display purposes, shall not be used for security lighting after 11:00 pm or after closing hours if before 11:00 pm. Metal halide lamps shall be installed only in enclosed luminaries.
3. Outdoor advertising signs of the type constructed of translucent materials and wholly illuminated from within do not require shielding. Dark backgrounds with light lettering or symbols are preferred, to minimize detrimental effects. Unless conforming to the above dark background preference, total lamp wattage per property shall be less than 41 watts in Area A.
4. For the purposes of this Code, quartz lamps shall not be considered an incandescent light source.
5. Warm white and natural lamps are preferred to minimize detrimental effects.
6. For filtering requirements for metal halide fixture lamp types see Section 6.
7. Fully shielded and installed metal halide fixtures shall be allowed for applications where the designing engineer deems that color rendering is critical.

Section 6. Filtration. Metal halide fixture lamps types shall be filtered. "Filtered" means any outdoor light fixture which has a glass, acrylic, or translucent enclosure of the light source (quartz glass does not meeting this requirement).

Section 7. Outdoor Advertising Signs.

Sec 7.1. Top Mounted Fixtures Required. Lighting fixtures used to illuminate an outdoor advertising sign shall be mounted on the top of the sign structure. All such fixtures shall comply with the shielding requirements of Section 5 and the time controls of minor Section 9.5. (The County has made an exception for some of the largest signs, but tight restrictions are given for lighting performance.)

Sec. 7.2. (City only.) Prohibitions. See Section 9.5 for prohibitions.

Sec. 7.2. (County only.) Compliance Limit. Existing outdoor advertising structures shall be brought into conformance with this Code within three years from the date of adoption of this provision.

Sec. 7.3. (County only.) Prohibitions. Electrical illumination of outdoor advertising off-site signs is prohibited in Area A. Electrical illumination of outdoor advertising off-site signs between the hours of 11:00 p.m. and sunrise is prohibited in Area A.

Section 8. Submission of Plans and Evidence of Compliance with Code-Subdivision Plats.

Sec 8.1. Submission Contents. The applicant for any permit required by any provision of the laws of this jurisdiction in connection with proposed work involving outdoor lighting fixtures shall submit (as part of the application for permit) evidence that the proposed work will comply with this Code. The submission shall contain but shall not necessarily be limited to the following, all or part of which may be part or in addition to the information required elsewhere in the laws of this jurisdiction upon application for the required permit:

1. plans indicating the location on the premises, and the type of illuminating devices, fixtures, lamps, supports, reflectors, and other devices;
2. description of the illuminating devices, fixtures, lamps, supports, reflectors, and other devices and the description may include, but is not limited to, catalog cuts by manufacturers and drawings (including sections where required);
3. photometric data, such as that furnished by manufacturers, or similar showing the angle of cut off or light emissions.

Sec 8.2. Additional Submission. The above required plans, descriptions and data shall be sufficiently complete to enable the plans examiner to readily determine whether compliance with the requirements of this Code will be secured. If such plans, descriptions and data cannot enable this ready determination, by reason of the nature or configuration of the devices, fixtures, or lamps proposed, the applicant shall additionally submit as evidence of compliance to enable such determination such certified reports of

tests as will do so provided that these tests shall have been performed and certified by a recognized testing laboratory.

Sec. 8.3. Subdivision Plat Certification. If any subdivision proposes to have installed street or other common or public area outdoor lighting, the final plat shall contain a statement certifying that the applicable provisions of the Tucson/Pima County Outdoor Lighting Code will be adhered to.

Sec 8.4. Lamp or Fixture Substitution. Should any outdoor light fixture or the type of light source therein be changed after the permit has been issued, a change request must be submitted to the building official for his approval, together with adequate information to assure compliance with this code, which must be received prior to substitution.

Section 9. Prohibitions.

Sec 9.1. Mercury Vapor Lamps Fixtures and Lamps. The installation, sale, offer for sale, lease or purchase of any mercury vapor fixture or lamp for use as outdoor lighting is prohibited.

Sec 9.2. Certain Other Fixtures and Lamps. The installation, sale, offering for sale, lease or purchase of any low pressure sodium, high pressure sodium, metal halide, fluorescent, quartz or incandescent outdoor lighting fixture or lamp the use of which is not allowed by Table 5 is prohibited.

Sec 9.3. Laser Source Light. Except as provided in minor Section 9.4, the use of laser source light or any similar high intensity light for outdoor advertising or entertainment, when projected above the horizontal is prohibited.

Sec 9.4. Searchlights. The operation of searchlights for advertising purposes is prohibited in Area A and is prohibited in unincorporated Pima County. In the territorial limits of the City of Tucson, the operation of searchlights for advertising purposes is prohibited in Area A and is prohibited in Area B between 10:00 p.m. and sunrise the following morning.

Sec. 9.5. (City only.) Outdoor Advertising Off-Site Signs. Electrical illumination of outdoor advertising off-site signs is prohibited in Area A. Electrical illumination of outdoor advertising off-site signs between the hours of 11:00 p.m. and sunrise is prohibited in Area B.

Section 10. Special Uses.

Sec 10.1. Recreational Facilities. Any light source permitted by this Code may be used for lighting of outdoor recreational facilities (public or private), such as, but not limited to, football fields, soccer fields, baseball fields, softball fields, tennis courts, auto race tracks, horse race tracks or show areas, provided all of the following conditions are met:

a. Lighting for parking lots and other areas surrounding the playing field, court, or track shall comply with this Code for lighting in the specific Area as defined in Section 4.4 and 4.5 of this Code.
b. All fixtures used for event lighting shall be fully shielded as defined in Section 5 of this Code, or be designed or provided with sharp cut-off capability, so as to minimize up-light, spill-light, and glare.
c. All events shall be scheduled so as to complete all activity before or as near to 10:30 p.m. as practical, but under no circumstances shall any illumination of the playing field, court, or track be permitted after 11:00 p.m. except to conclude a scheduled event that was in progress before 11:00 p.m. and circumstances prevented concluding before 11:00 p.m.

Exception: (City only.) Any portion of a recreational facility located within 300 feet of a road or street designated as a scenic route shall be lighted using only fixtures approved for use under this Code for the Area, as defined in Section 4.4 and 4.5 of this Code, in which said recreational facility is located.

Exception: (County only.) Recreational facilities located along roads and streets designated as scenic routes shall be lighted using only fixtures approved for the Area in which they are located.

Sec. 10.2. Outdoor Display Lots. Any light source permitted by this Code may be used for lighting of outdoor display lots such as, but not limited to, automobile sales or rental, recreational vehicle sales, or building material sales, provided all of the following conditions are met:

a. Lighting for parking lots and other areas surrounding the display lot shall comply with this Code for lighting in the specific area as defined in Section 4.4 and 4.5 of this Code.
b. All fixtures used for display lighting shall be fully shielded as defined in Section 5 of this Code, or be designed or provided with sharp cut-off capability, so as to minimize up-light, spill-light, or glare.
c. Display lot lighting shall be turned off within thirty minutes after closing of the business. Under no circumstances shall the full illumination of the lot be permitted after 11:00 p.m. Any lighting used after 11:00 p.m. shall be used as security lighting.

Section 11. Temporary Exemption

Sec 11.1. Request; Renewal; Information Required. Any person may submit a written request, on a form prepared by the jurisdiction, to the building official for a temporary exemption request. A temporary exemption shall contain the following information:
1. specific exemption or exemptions requested;
2. type and use of outdoor light fixture involved;
3. duration of time requested exemption;
4. type of lamp and calculated lumens;
5. total wattage of lamp or lamps;
6. proposed location on premises of the outdoor light fixture(s);
7. previous temporary exemptions, if any, and addresses of premises thereunder;
8. physical size of outdoor light fixture(s) and type of shielding provided;
9. such other data and information as may be required by the building official.

Sec. 11.2. Approval; Duration. The building official shall have five business days from the date of submission of the request for temporary exemption to act, in writing, on the request. If approved, the exemption shall be valid for not more than thirty days from the date of issuance of the approval. The approval shall be renewable at the discretion of the

building official upon a consideration of all the circumstances. Each such renewed exemption shall be valid for not more than thirty days.

Sec 11.3. Disapproval; Appeal. If the request for temporary exemption is disapproved, the person making the request will have the appeal rights provided in Section 13.

Section 12. Other Exemptions.

Sec 12.1. Nonconformance

1. Mercury vapor lamps in use for outdoor lighting on the effective date of the ordinance codified in this chapter shall not be so used.
2. (City.) Bottom-mounted outdoor advertising sign lighting shall not be used.
2. (County) Bottom-mounted outdoor advertising sign lighting shall not be used, except as provided in Section 7.
3. All other outdoor light fixtures lawfully installed prior to and operable on the effective date of the ordinance codified in this chapter are exempt from all requirements of this Code except those regulated in Section 7 and in minor Sections 9.3 and 9.4 and in Section 10. There shall be no change in use or lamp type, or any replacement or structural alteration made, without conforming to all applicable requirements of this Code.

Sec. 12.2. Fossil Fuel Light. All outdoor light fixtures producing light directly by the combustion of natural gas or other fossil fuels are exempt from all requirements of this Code.

Sec 12.3. State and Federal Facilities. Outdoor light fixtures installed on, and in connection with those facilities and land owned or operated by the federal government or the state of Arizona, or any department, division, agency or instrumentality thereof, are exempt from all requirements of this Code. Voluntary compliance with the intent of this Code at those facilities is encouraged.

Section 13. Appeals.

Any person substantially aggrieved by any decision of the building official made in administration of the Code has the right and responsibilities of appeal to the Advisory/Appeals Board of this jurisdiction.

Section 14. Law Governing Conflicts.

Where any provision of federal, state, county, or city statutes, codes, or laws conflicts with any provision of this code, the most restrictive shall govern unless otherwise regulated by law.

Section 15. Violation.

It shall be a civil infraction for any person to violate any of the provisions of this Code. Each and every day during which the violation continues shall constitute a separate offense.

Section 16. Enforcement and Penalty.

Sec 16.1. [City only] Pursuant to Section 28-12 of the Tucson Code:

1. When a violation of this Code is determined, the following penalty shall be imposed:
a. A fine of not less than fifty dollars nor more than one thousand dollars per violation. The imposition of a fine under this Code shall not be suspended.
b. Any other order deemed necessary in the discretion of the hearing officer, including correction or abatement of the violation.
2. Failure of a defendant to comply with any order contained in a judgment under this Code shall result in an additional fine of not less than fifty dollars nor more than one thousand dollars for each day the defendant fails to comply.

Sec. 16.1. [County only] A violation of this Code is considered a civil infraction. Civil infractions shall be enforced through the hearing officer procedure provided by A.R.S. Section 11-808 and Sections 18.95.030, 18.95.040, and 18.101.60 of this Code [The

numbering scheme of the Sections is different in the County Code]. A fine shall be imposed of not less than fifty dollars nor more than seven hundred dollars for any individual or ten thousand dollars for any corporation, association, or other legal entity for each offense. The imposition of a fine under this Code shall not be suspended.

International Dark-Sky Association (IDA) — Information Sheet #11

Estimating the Level of Sky Glow Due to Cities

The formula we use to estimate urban sky glow is called "Walkers Law". It was proposed by Merle Walker based on his measurements of sky glow for a number of cities in California. It can be used to estimate the sky glow at an observing site, looking at a zenith angle of 45° toward an urban source d kilometers away. The formula is

$$I = 0.01Pd^{-2.5}$$

where I is the increase in sky glow level above the natural background and P is the population of the city and d is the distance to the center of the city in km. For example, I = 0.02 means that the sky background is 2% above the natural background midway between the horizon and the zenith in the direction of the city, and 1.00 means that the sky glow is double the natural background—a 100% increase. The equation seems to best fit communities where the average lumens per person is between 500 and 1000. Large cities emit more light per person, and the amount of skyglow may be larger than the formula shows, perhaps. For example, a city with a population of 1,000,000 that is 100 km from an observing site may produce more sky glow than the 10% the formula indicates.

Example 1: We can calculate the urban population at which the sky glow will be 10% above the natural background, for a given distance of the observatory from the city. At this sky glow level, significant sky degradation is beginning.

Distance (d):	10 km	25 km	50 km	100 km	200 km
Population :	3,160	31,250	177,000	1,000,000	5,660,000

Example 2: Consider the sky glow impact at Kitt Peak, due to these cities:

	Population	**Distance**	**I is therefore**
Tucson	500,000	60 km	0.18 (an 18% increase)
Phoenix	1,250,000	160 km	0.04
Sells	5,000	16 km	0.05

If Tucson grows to 1,000,000, then I = 0.36, and if growth in the Avra Valley (d = 30 km) leads to a 250,000 population, then I = 0.51 for that alone. We must try to insure a lower sky glow. It is easy to see why one worries about growth, especially when it occurs close to an observatory. (We measure an increased sky glow of only 6%at present. Outdoor lighting controls do work!)

Example 3: Effect of distance on the fall-off of sky glow:

Distance (d)	10	20	30	40	50	60	80	100 km
Light level	316	56	20	10	6	4	2	1

Note: The "natural sky glow background" level at the zenith is assumed to be 2 x 10^{-4} cd m^{2}, or 21.6 magnitude per square second of arc. It is greater at a 45° zenith angle.

Chadwick A. Moore

Visual Estimations of Night Sky Brightness

*We can no longer avoid the issue of light pollution, because soon we will have nowhere left to go. The global problem of light pollution has never been so artfully expressed as in Woodruff T. Sullivan's famous 'Earth at Night' satellite images.**
Kosai and Isobe 1992

Introduction

Managers of parks, preserves, refuges, and wilderness areas are becoming increasingly concerned over the loss in visibility of the night sky. Like the apocalyptic threat of Rachel Carson's *Silent Spring,* those who cherish the night skies fear a night of no stars, with only the sallow glow of streetlights for inspiration. Encroaching city lights scatter light upward, bathing the otherwise dark sky and reducing the contrast to a point where stars are lost in urban glow. The effect of urban lighting, also known as light pollution, can reach surprisingly far. For example, from Death Valley National Park the lights of Las Vegas produce an obvious and obtrusive glow even though the city is 100 miles to the southeast. Los Angeles, 160 miles to the southwest, produces a dim but broad glow across the southern horizon (Moore and Duriscoe, in prep.).

Astronomers at observatories were perhaps first to notice this problem. As early as 1970, astronomers were scouring the USA for suitable observing sites away from city lights; remaining opportunities were few (Walker 1970; Garstang 1989). Today, astronomical observatories employ multi-million-dollar equipment to measure sky brightness, contrast, and atmospheric extinction. However, less costly tools are available to those interested in monitoring their dark sky resource. The simplest and least costly monitoring methods are visual estimations using the human eye. Under a pristine dark sky, perhaps 14,000 stars in the celestial sphere would be discretely visible (Figure 1). Outdoor lighting tends to scatter light upward, brightening the background of space. This increase in sky brightness reduces the contrast between the background and fainter stars until they become invisible to the eye. Also lost with the stars are the diffuse objects in the sky—nebulae, galaxies, comets, and the river of stars in our galaxy called theMilky Way. The visible loss of these faint and diffuse astronomical objects is what troubles

amateur astronomers so much. This group has been the most vocal in opposing light pollution and promoting the conservation of dark night skies.

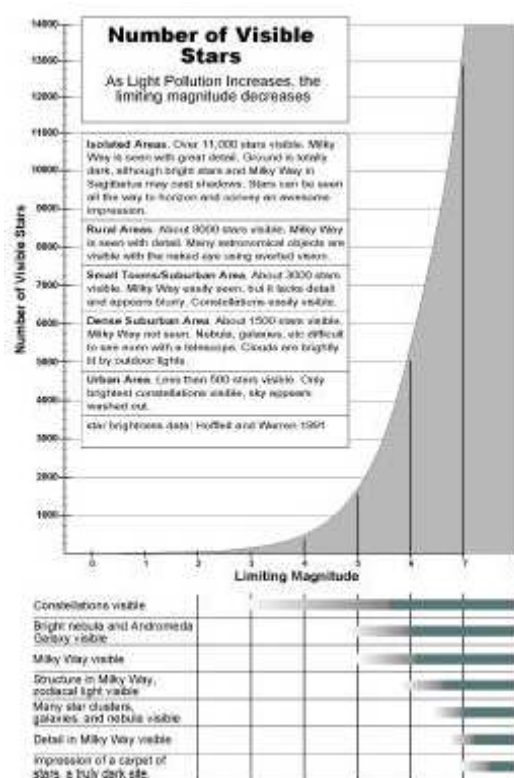



Figure 1

There is a sharp drop-off in number of visible stars as light pollution increases and the limiting magnitude decreases. Also lost is the impression of primitive sky and the attending of astronomical objects that give it its splendor.

Amateur astronomers and meteor observers have made visual estimations of limiting magnitude for years. Limiting magnitude is a measure of the brightness of the faintest star one can see. The astronomical magnitude scale increases with faintness. Magnitude zero represents bright stars such as Vega, Antares, or Rigel, while magnitude 7 stars would be near the faint limit of most dark skies. In exceptional cases, magnitude 8 stars have been observed with the naked eye (Russell 1917; Bowen 1947). The number of visible stars, and the diversity of astronomical objects visible, decrease rapidly as the limiting magnitude falls. It is not uncommon for a remote area surrounded by rapid urbanization to lose more than half the visible stars in a decade (Moore and Duriscoe, in prep.).

The human eye is a somewhat imprecise instrument. Few people have 20/20 vision without aid of lenses, and the eye changes in lightgathering capability and acuity with age (Carr et al. 1989b). There is also potential for bias in the eye's central processing

unit— the brain. However, what the eye lacks in precision, it makes up for in sensitivity and ease of use. The scoptic (grayscale) vision we use at night is surprisingly sensitive, able to detect as few as 200 photons per second falling on the retina and transmitting a message tothe brain (Russell 1917). The eye's rod cells are 1,000 times more sensitive than the color-detecting cone cells (Carr et al. 1989b). Scoptic vision is most sensitive in the greens and blues, and least sensitive to the reds; thus the use of red-filtered flashlights to preserve night vision. The star magnitudes used in this method are measured in the "Johnson V" spectrum, which closely matches the human eye's scoptic vision, and are therefore an appropriate analogue for brightness measurements.

Methodology

The visual estimation of limiting magnitude is based on star counts of 25 established sample areas (similar to methods utilized by meteor observers; Figure 2). Each area contains a field of mapped stars with known brightness values. The observer scans the field using averted vision, trying to detect sequentially fainter stars on the map. The faintest star observed becomes the sky's limiting magnitude (LM). By following the procedures for dark adaptation and counting, reasonable conformity can be attained between observers (Blackwell 1946).

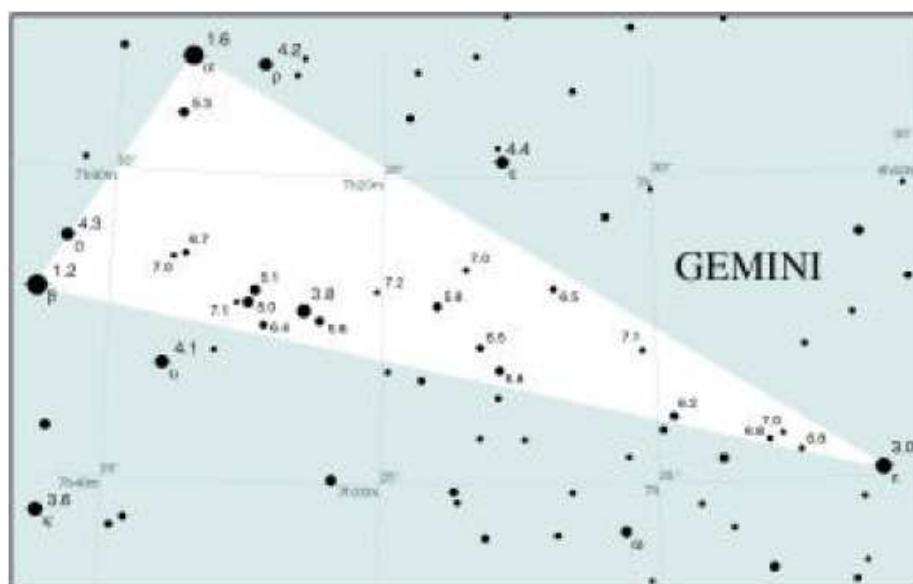



Figure 2

One of 25 star count areas for determining limiting magnitude. This open triangle uses the familiar stars of Castor and Pollux (the Gemini Twin stars) for the short side. After proper dark adaptation, the observer takes 2 – 5 minutes to find the faintest visible stars, starting with the brighter ones and working fainter. The faintest visible star bocomes the limiting magnitude.

Initially, this star count is conducted at the zenith (straight overhead) Counts can also be conducted in quadrants of the sky, and at various angular altitudes above the horizon. The process can take as little as 30 minutes to arrive at a zenith LM number. Observers have used this methodology to produce brightness maps of different parts of the night sky, or to take single measurements on multiple nights to capture the range of variation associated with weather, seasonal changes, or atmospheric scattering. Observations are conducted under cloudless, moonless nights. Even distant clouds or ground fog skew the results, amplifying some light sources while suppressing others. The effect of local weather upon sky brightness is an interesting study in itself, but such conditions should be avoided to produce a baseline inventory to track long-term changes.

Other Factors Affecting Limiting Magnitude

Light scattered upward is not the only factor affecting an LM measurement. Pollutants in the atmosphere can substantially increase the extinction of light as it is transmitted through the atmosphere. Airborne particulates, in the absence of light pollution, can substantially reduce the faintest stars visible, even thought the sky background may appear very dark (Garstang 1991). In this case, the visibility of stars and astronomical objects are lost to light scattering and absorption, not due to decreased contrast. Air pollution compounds the scattering of light pollution, furthering the degradation of night sky visibility. Finally, both factors are affected by humidity in the atmosphere (Carr et al. 1989b). The growth and size of aerosol particles in the atmosphere is related to moisture. Therefore, higher humidities are expected to exacerbate both the scattering of existing light pollutionas well as the absorption of starlight (Garstang 1991). Conditions of greater scattering tend to brighten nearby light sources while dimming far-off light sources (Carr et al. 1989b). The corollary to this phenomenon is that dry, high-altitude dark-sky sites are more susceptible to far-off light sources.

The lower atmosphere is turbulent, producing the common effect of twinkling stars. Turbulence scatters light and reduces the LM. Those precious few photons will bedeflected away from a single retinal cell, and the eye will fail to detect a star,even though the night is dark and pollution-free (Bortle 2001). Therefore, LM estimations will integrate a measure of atmospheric stability, when perhaps we are less interested in its effects than that of scattered light or air pollution. Observers often notice that the stars look sharpest and brightest in the late hours just before dawn. This trend is mostly due to atmospheric turbulence which settles and diminishes as the night progresses and the land

cools. This trend may also be the result of reduced light pollution as people turn off their porch lights, park their cars, and outdoor athletic events come to a close.

Sources of Sky Glow

As with many natural resource measurements, much of the challenge can be separating the natural and human components. Natural sky brightness does exist; the humanmade component of sky brightness is light pollution. Moonlight is the most obvious natural source, but can easily be avoided by sampling when the moon has set. Zodiacal light, the spike of illuminated dust particles circling the inner solar system, can be a significant natural light source. It is most obvious in spring and autumn, but will set a few hours after sunset and rise a few hours before dawn. Like the moon, zodiacal light is easily avoided and simply results in a shorter observing window at night (International Dark-Sky Association 2000).

Airglow is an important consideration at dark-sky locations. This results from the excitation of air molecules in the upper atmosphere that emit faint light. Airglow varies with solar activity, and tends to be highest during the solar maximum (which varies on an 11-year cycle; the most recent was in 2001). Lastly, galactic light and starlight can be a significant enough light source that they can affect both the eye's ability to see faint objects and the brightness of the sky itself. Star counts within the Milky Way are more difficult due to the glowing background of thegalaxy (International Dark-Sky Association 2000). In extremely dark locations, the brightest portions of the Milky Way will create shadows and can spoil the eye's dark adaptation! However, for skies with LMs of 6.0 or lower, airglow, galactic light, and starlight are not a significant factor in total sky brightness.

The Bortle Dark-Sky Scale

Although LMs have long been used by serious amateur astronomers, John Bortle recently proposed a different, qualitative-based scale (Bortle 2001). Built on the idea of categorizing night skies (Schaaf 1994), this nine-step scale has proved immediately popular, and has a few advantages over the visual estimation of LM. Like the LM methods, only a beginning knowledge of the night sky is needed. The Bortle Dark-Sky Scale uses qualitative descriptors to differentiate one class of sky to another. For example, being able to see the Andromeda Galaxy with the naked eye is indicative of class 6 skies and better. His scale is based on 50 years of night sky observing, and unfortunately his best class 1 skies are so rare now that few have ever seen them.

Bortle Dark-Sky Scale

	Milky Way	Astronomical Objects	Zodiacal Light/ Constellations	Airglow and Clouds	Night Time Scene	LM
Class 1	MW shows great detail, and Scorpio/Sagittarius region casts obvious shadow on ground	Pinwheel galaxy is an obvious object	Zodiacal light has obvious color, and can stretch across entire sky	Bluish airglow is visible near the horizon and clouds appear as dark blobs against stars	Jupiter and Venus annoy night vision, ground objects are barely lit, trees and hills are dark	7.6-8.0
Class 2	Summer MW shows great detail, and has a veined appearance	Pinwheel galaxy is an visible with direct vision, as are many globular clusters	Zodiacal light bright enough to cast weak shadows after dusk and has apparent color	Airglow may be weakly apparent, and clouds still appear as dark voids	Ground is mostly dark, but object projecting into the sky are discernible	7.1-7.5
Class 3	MW still appears complex, dark voids and bright patches and a meandering outline are visible	Brightest globular clusters are distinct, Pinwheel galaxy visible with averted vision	Zodiacal light is striking in Spring and Autumn, extending 60° above horizon	Airglow is not visible, and clouds are faintly illuminated except at zenith	Some light pollution evident along horizon, ground objects are vaguely apparent	6.6-7.0
Class 4	Only well above horizon does MW reveal any structure. Fine details are lost	Pinwheel galaxy is a difficult object, even with averted vision; Andromeda galaxy very visible	Zodiacal light is clearly evident, but extends less than 45° after dusk	Clouds are faintly illuminated except at zenith	Light pollution domes evident in several directions, sky is noticeable brighter than terrain	6.1-6.5
Class 5	MW appears washed out overhead, and is lost near the horizon.	The oval of Andromeda galaxy is detectable, as is the glow in the Orion nebula	Only hints of zodiacal light in Spring and Autumn	Clouds are noticeable brighter than sky, even at the zenith.	Light pollution domes are obvious to casual observers, ground objects are partly lit	5.6-6.0
Class 6	MW only apparent overhead, and appears broken as fainter parts are lost to sky glow.	Andromeda galaxy detectable only as a faint smudge, Orion nebula is seldom glimpsed	Zodiacal light is not visible. Constellations are seen, and not lost against a starry sky	Clouds anywhere in the sky appear fairly bright as they reflect back light	Sky from horizon to 35° glows with grayish color, ground is well lit	5.1-5.5
Class 7	MW is totally invisible or nearly so	Andromeda galaxy and Beehive cluster are rarely glimpsed	Zodiacal light is not visible, and constellations are most easily seen	Clouds are brilliantly lit	Entire sky background appears washed out, with a grayish or yellowish color	4.6-5.0
Class 8	not visible	Pleiades are easily seen, but precious few other objects are visible	Zodiacal light not visible, and some dimmer constellations lack key stars	Clouds are brilliantly lit	Entire sky background has an orangish glow, and it is bright enough to read at night	4.0-4.5
Class 9	not visible	Only the Pleiades are visible to all but the most experienced observers	Only the brightest constellations are discernible	Clouds are brilliantly lit	Entire sky background has an bright glow, even at the zenith	<4.0

Figure 3

The Bortle scale uses nine steps to rate the quality of the night sky. Using fairly common astronomical objects, and qualitative descriptors of the Milky Way, zodiacal light. And nighttime scene, a class can be established; some minor additions have been made by the author. Bortle's scale includes exceptionally dark skies that are increasingly rare today. His class 1 and 2 skies not only require the absent of light pollution but also require atmospheric conditions low in air pollution, aerosols, and moisture. Because of this, the darkest skies are strongly weather-dependent. In the more humid eastern USA, such skies would be exceedingly rare today.

The Bortle scale definitions are included and cross–referenced with LMs (Figure 3). The Bortle scale is suitable for a wide range of conditions, from the brightest urban areas (LM lower than 4) to the darkest sites (LM up to 8)—an advantage over the LM star count method. The LM star count is best suited to magnitude ranges between 5.5 and 6.5, and is unusable with LMs above 7.2 or below 4.5. The Bortle Dark-Sky Scale also integrates factors in a way similar to our own aesthetic appreciation of the night sky. However, this method tends to produce one measure for an entire sky, as opposed to the LM star count method, which can produce multiple measurements for different points in

the sky, allowing sky brightness to be associated with directions or specific cities. It is also less able to capture finer variations in sky brightness. Bortle (2001) contends that the degree of human bias and error in LM star counts exceed the resolution of the method. However, basic tests using LMs found adherence to the methods produced an acceptable variation from observer to observer that is less than the 0.5-magnitude steps of the Bortle scale (Moore and Duriscoe, in prep.).

Conclusion

Dark night skies are an important resource. Dark night skies are an air quality-related value, and as such are provided ancillary protection under the 1977 Clean Air Act Amendments. They are an important component of wilderness areas in “retaining primeval character and influence,” as defined in the 1964 Wilderness Act. They are necessary to a growing list of wildlife species, and are increasingly sought after by park visitors as they lose the experience of a starry night at their homes in the city. Night skies also serve as a “vital sign”: an indication of the degree of encroachment of development, and of the level of cooperation between a protected area and surrounding communities.

The Bortle scale gives glimpses of the potential quality of night sky that is currently lost at most locations in the USA. Land managers whose responsibilities include significant night skies, but who have no measure of their quality, are at least 30 years behind. The value of a baseline condition, even if substantial resources have already been lost, cannot be overestimated. Visual estimations of night sky brightness are simple and repeatable. Because of their simplicity, they can “readily become the most extensive body of data” available on night skies (Kosai and Isobe 1992). They also allow a direct comparison from one area to another, whether that area is a few miles away or atop a distant mountain.

Visual estimations of night sky brightness are an easy and rapid tool for land managers to inventory the quality of their dark sky resource. They are an effective first step in monitoring and ultimately protecting this threatened resource.

Epilogue

In early 2000, the National Park Service (NPS) funded a Night Sky Team. Using Natural Resource Preservation Program and Fee Demonstration funds, the team set out to standardize methods for measuring and monitoring night skies, and to employ these methods at several parks. Complete methods for visual estimations of LM are available from the Night Sky Team, and now include cross-references to the Bortle Dark-Sky

Scale. Additional quantitative methods and computer models are being refined or developed, and will become the mainstay of the program's efforts. In addition to standardizing methods, the Night Sky Team provides technical assistance for community outreach and visitor interpretation. The Night Sky Team is based out of Pinnacles National Monument and Sequoia and Kings Canyon National Parks, with support from the NPS Air Quality Division.

Several studies provide examples of good science and leadership in night sky management. In a program between amateur astronomers, the National Astronomical Observatory, and the Japan Environmental Agency, a map of sky brightness was developed for the entire country of Japan (Kosai and Isobe 1992). Combining star counts, photographs, and photometric observations, the study documented the location of the darkest areas as well as the change in sky brightness over time.

Bryce Canyon National Park examined the potential impact from a planned coal mine, as well as the human perception of light pollution (Carr et al. 1989a, 1989b). These two studies were pioneering in their use of computer modeling of light pollution. Additionally, they crossreferenced particular brightness values in the sky to what is commonly perceived by park visitors. The human perception of sky glow is an important component of night sky protection, since aesthetics and the wilderness experience are often cited as core values. In another study by NPS, Organ Pipe Cactus National Monument conducted complete sky surveys with a stellar photometer (NPS 1995). Light pollution contributions from near and distant cities were mapped and their exact brightness values determined. In 2001, these measurements were repeated, giving the park long-term monitoring data and the ability to detect small changes in night sky brightness over time (Casper 2001).

After only 18 months in operation, the Night Sky Team (composed of resource scientists with other fulltime duties) is nearing standardization of methodologies and completion of a pilot study at four national parks. The task remaining is tremendous. At the time NPS was created, the night skies above our national treasures were unimpacted by light pollution. Today, only about 1% of parks are free from this problem. Many flagship parks in the National Park System have substantial degradation, but fewer than a dozen parks have any data whatsoever on the quality of their night skies.

KEPUSTAKAAN

Anonim, 2000, *Outdoor Lighting Code Handbook*. International Dark-Sky Association (IDA)

Anonim, 2002, *Efficient Lighting Strategies* (Technology Fact Sheet). Office of Energy Efficiency and Renewable Energy – U.S. Department of Energy

Anonim, 2003, *Domestic Security Lighting, Friend or Foe* (Leaflet). The Institution of Lighting Engineers (ILE).

Anonim, 2003, *Light Pollution and Astronomy* (Report Vol. I). House of Commons Science and Technology Committee

Anonim, 2005, *Guidance Notes for the Reduction of Obtrusive Light*. The Institution of Lighting Engineers (ILE).

Benya, J. et al., 2003, *Advance Lighting Guidelines*. New Buildings Institute Inc.

Christpohy, R.M., 2006, Thesis Project.

Farrington, D.P. & Welsh, B.C., 2002, *Effects of Improved Street Lighting on Crime: A Systematic Review*. Home Office Research – Development and Statistics Directorate

http://ioannis.virtualcomposer2000.com/spectroscope/mercurylamp.html

http://www.allproducts.com/search/products/pE060199.shtml

http://www.daviddarling.info/encyclopedia/L/AE_low-pressure_sodium_lamp.html

Kopel, D.B. & Loatman, M., 2006. *Dark Sky Ordinances: How to Separate the Light from the Darkness*. Independence Institute

Longcore, T. & Rich, C, 2004, *Ecological Light Pollution*. The Ecological Society of America

Shaflik, C., 1995, *Environmental Effects of Roadway Lighting* (Technical Paper for CIVL 582 – Transportation of Engineering Impacts). University of British Columbia – Depart-Ment of Civil Engineering